



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



Studium změn tribologického chování lubrikantů po aditivaci nanočásticemi

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: **Michal Fotr**

Vedoucí práce: prof. Ing. Petr Louda, CSc.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal Fotr**

Osobní číslo: **S16000054**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojní inženýrství**

Název tématu: **Studium změn tribologického chování lubrikantů po aditivaci nanočásticemi**

Zadávající katedra: **Katedra materiálů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Vypracování odborných rešerší na téma: tribologické chování a změna užitečných vlastností povrchů, možnosti využití lubrikantů; charakterizace povrchů (drsnost, nanotvrdost, morfologie aj.).
2. Návrh uspořádání laboratorních experimentů (volba vhodných metod, příprava metodiky měření).
3. Provedení experimentu (tribologické chování, hodnocení povrchu materiálu pomocí mikroskopie, hodnocení opotřebení povrchu po tribologii apod.).
4. Posouzení vhodnosti zkoumaných povrchů a lubrikantů.
5. Zhodnocení dosažených výsledků včetně popisu využití v reálné praxi.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 25 - 50 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

- [1] KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy*. ZČU v Plzni 2000.
- [2] DAŘOUREK, K. *Vybrané technologie povrchových úprav*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, 117 s. ISBN 978-80-7372-168-8.
- [3] A. H. BATTEZ, R. GONZ'ALEZ, J. L. VIESCA, J. E. FERN'ANDEZ, J. M. D'IAZ FERN'ANDEZ, A. MACHADO, R. CHOU, J. RIBA: CuO, ZrO₂ and ZnO Nanoparticles as Antiwear Additive in Oil Lubricants. *Science Direct*. 1 (2008).
- [4] M. A. SAYUTI, A. D. SARHAN, F. SALEM: Novel Uses of SiO₂ Nano-lubrication System in Hard Turning Process of Hardened Steel AISI4140 for Less Tool Wear, Surface Roughness and Oil Consumption. *Science Direct, J Cleaner Production*, 1 (2013).
- [5] BAKALOVA, T., SVOBODOVÁ, L., ROSICKÁ, P., BORŮVKOVÁ, K., VOLESKÝ, L. a P. LOUDA. The application potential of SiO₂, TiO₂ or Ag nanoparticles as fillers in machining process fluids. *J. Clean. Prod.* 142, 2237-2243. doi:10.1016/j.jclepro.2016.11.054, 2017.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Petr Louda, CSc.
Katedra materiálů
Konzultant bakalářské práce: Ing. Totka Bakalova, Ph.D.
Ostatní konzultanti: Ing. Marián Ďurák
Katedra materiálů

Datum zadání bakalářské práce: 30. října 2017
Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2019

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



prof. Ing. Petr Louda, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 30. října 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Poděkovat bych především chtěl Ing. Totce Bakalové Ph.D. za profesionální vedení bakalářské práce a za velmi důležité připomínky a odborné poznámky v průběhu konzultací. Dále bych chtěl poděkovat prof. Ing. Petru Loudovi CSc. za odborné poznámky a doplňující informace během konzultací. Další poděkování patří Ing. Lukáši Voleskému za jeho odborné připomínky v průběhu přípravy experimentální části.

Abstrakt

Uplatnění nanomaziv v průmyslu zaznamenává razantní skok kupředu. Nanomaziva jsou nebo obsahují částice o velikosti nanometrů. Princip přípravy nanomaziv spočívá v rozptýlení částic o velikosti nanometrů a jejich rovnoměrné roztržení v objemu maziva. Cílem této práce, je studovat změny tribologického chování při tření bez použití lubrikace a při použití lubrikantů před a po aditivaci nanočásticemi. Konkrétně je práce zaměřená na pozorování tribologického chování dvou různých povrchů, zejména ocel ČSN 12 050 s leštěným povrchem a s povrchovou vrstvou CrN_x při kontaktu s protikusem, který tvoří kulička z keramického materiálu Al_2O_3 . V této práci je sledován vliv aditivace hydraulických olejů nanočásticemi na součinitel tření a velikost opotřebení použitých materiálu z třecí dvojice. V první etapě je práce zaměřená na porovnání drsností povrchů ocelí v leštěném stavu a po nanesení vrstvy CrN_x . V další etapě proběhly tribologické zkoušky u obou povrchů při tření na suchu, následovala tribologie za pomoci hydraulického oleje, a v konečné fázi se do hydraulického oleje aplikovaly nanočástice. Během zkoušky byl využit olej, který je typický pro hydraulické systémy s komerčním názvem OHHM 32. Tato práce je především zaměřena na studium nanočástic SiO_2 a Al_2O_3 , které jsou aditivovány do hydraulického oleje. Záměrem této práce, je zjistit rozdíly v tribologickém chování před a po aditivaci nanočásticemi, vyhodnotit míru opotřebení materiálu, což má vliv na životnost jak hydraulických olejů, tak i na životnost dílů.

Klíčová slova: vrstva, ocel, lubrikace, hydraulický olej, tribologie, nanočástice

Abstract

Nanomassive application records a robust step forward in industry. Nanomassives are or consist of particles of nanometer size. The principle of the preparation of nanomaterials consists of the dispersion of nanometer particles and their even distribution in the volume of the lubricant. The aim of this work is to study the changes of the tribological behavior of friction without the use of lubrication and the use of lubricants before and after additive by nanoparticles. Specifically, the work is focused on the observation of the tribological behavior of two surfaces of steel ČSN 12 050 with a polished surface and with a surface layer CrN_x in contact with a globule made of ceramic material Al_2O_3 . In this work, we will study the influence of additive of hydraulic oils by using nanoparticles on the coefficient of friction and the amount of worn material. In the first stage, the work is focused on comparing the roughness of the steel surfaces in the polished state and after applying the CrN_x layer. In the next stage, tribological tests were performed on both surfaces under dry friction, followed by the tribology using hydraulic oil, and finally nanoparticles were applied to the hydration oil. Oil, with a commercial name OHHM 32, was being used during the test, which is typical for hydraulic systems. This work is primarily focused on the study of nanoparticles SiO_2 and Al_2O_3 , which are additived into hydraulic oils. The aim of this work is to find out the differences in the tribological behavior before and after additive with nanoparticles, evaluate the wear rate of the material, which affects the life of both hydraulic oils as well as the life of the parts.

Key words: layer, steel, lubricants, hydraulic oils, tribology, nanoparticles

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam grafů	10
Seznam tabulek	11
Seznam označení	12
1 Úvod	13
2 Teoretická část	14
2.1 Vlastnosti a využití hydraulických olejů	14
2.1.1 Rozdělení hydraulických olejů do dvou skupin	15
2.2 Základový olej, jako základ hydraulického oleje	15
2.2.1 První dělení základového oleje, z hlediska výroby	15
2.2.2 Druhé dělení základového oleje, z hlediska výroby	16
2.3 Kapaliny, které mají příznivý dopad na životní prostředí	17
2.3.1 Rostlinný olej, jako ekologicky příznivá kapalina	17
2.3.2 Polyglykoly, jako ekologicky příznivé kapaliny	17
2.3.3 Syntetické estery, jako ekologicky příznivé kapaliny	17
2.4 Aditiva do hydraulických olejů, za účelem zlepšení jejich vlastností	18
2.4.1 Aditiva ovlivňující povrch součástí	18
2.4.2 Aditiva sloužící pro dosažení lepších vlastností olejů	19
2.4.3 Aditiva sloužící k ochraně oleje	20
2.5 Tribologické chování a únava materiálu třecí dvojice	20
2.5.1 Charakteristika tribologie	20
2.5.2 Tribologický systém a jeho procesy	21
2.6 Studium nanočástic SiO_2 , Al_2O_3	24
2.6.1 Použití a vlastnosti nanočástic SiO_2	24
2.6.2 Použití a vlastnosti nanočástic Al_2O_3	25
2.7 Využití nanočástic v průmyslových oblastech	25
2.7.1 Použití v oblasti zdravotnictví	25
2.7.2 Použití v oblasti textilního průmyslu	26
2.8 Použití nanočástic jako aditivum do kapalin a jejich vliv na životnost součástí	26
2.9 Výhody nanočástic v průmyslu	26

3 Experimentální část.....	27
3.1 Popis a příprava vzorků	27
3.1.1 Vlastnosti uhlíkových ocelí ČSN 12 050	27
3.1.2 Popis vrstvy CrN _x	28
3.2 Analýza chemického složení	29
3.2.1 Chemické složení oceli ČSN 12 050.....	29
3.2.2 Chemické složení nanosené vrstvy s označením CrN _x	30
3.2.3 Porovnání morfologie povrchů u oceli ČSN 12 050 před a po nanesení tenké vrstvy CrN _x	31
3.3 Drsnost povrchu ocelí třídy ČSN 12 050.....	32
3.3.1 Způsob hodnocení drsnosti povrchu	33
3.3.2 Výsledky měření drsnosti povrchu u ocelí ČSN 12 050	34
3.4 Měření tvrdosti oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN _x	35
3.4.1 Zařízení pro měření tvrdosti	35
3.4.2 Měření tvrdosti dle Knoopu na zařízení Struers	35
3.4.3 Výsledky hodnocení tvrdosti u oceli ČSN 12 050 s vyleštěným povrchem a povrchovou vrstvou CrN _x	36
5 Tribologické měření.....	37
5.1 Popis tribometru TRB používaného k měření tribologie.....	37
5.2 Tribologie ocelí ČSN 12 050 s rozdílnými povrchy při tření na sucho	38
5.2.1 Hodnocení opotřebení při tření nasucho u oceli ČSN 12 050	39
5.2.2 Hodnocení opotřebení při tření nasucho u oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN _x	39
5.3 Tribologie ocelí ČSN 12 050 s rozdílnými povrchy s hydraulickým olejem	40
5.3.1 Charakteristika hydraulického oleje s komerčním označením OHHM-32.....	42
5.3.2 Opotřebení třecí dvojice při použití hydraulického oleje OHHM-32.....	42
5.4 Tribologie ocelí ČSN 12 050 s rozdílnými povrchy s hydraulickým olejem aditivovaného nanočásticemi SiO ₂ a Al ₂ O ₃	43
5.4.1 Aditivace hydraulického oleje nanočásticemi	43
5.4.2 Opotřebení třecí dvojice při použití hydraulického oleje OHHM-32 aditivovaného nanočásticemi SiO ₂ a Al ₂ O ₃	45
5.5 Souhrn opotřebení různých druhů třecí dvojice při tření na sucho a při použití oleje bez/s aditivací nanočásticemi	46
5.6 Výsledné grafy součinitele tření po tribologickém měření.....	47

6 Závěr	50
Seznam použité literatury	52
Seznam příloh	54

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Vzor minerálního oleje [4]</i>	16
<i>Obrázek 2: Schéma znázorňující složení syntetického oleje [3]</i>	16
<i>Obrázek 3: Schéma znázorňující tribologický systém [3]</i>	20
<i>Obrázek 4: Schéma znázorňující adhezni opotřebení [10]</i>	22
<i>Obrázek 5: Schéma znázorňující abrazivní opotřebení [10]</i>	22
<i>Obrázek 6: Schéma znázorňující erozivní opotřebení [10]</i>	22
<i>Obrázek 7: Schéma znázorňující korozivní opotřebení [12]</i>	23
<i>Obrázek 8: Schéma znázorňující únavové opotřebení [10]</i>	23
<i>Obrázek 9: Vzorky použité při tribologii</i>	27
<i>Obrázek 10: Znázornění zkoumané vrstvy pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu při zvětšení 500x a 5000 x</i>	28
<i>Obrázek 11: Rastrovací elektronový mikroskop Carl Zeiss ULTRA Plus</i>	29
<i>Obrázek 12: Chemické složení oceli ČSN 12 050</i>	29
<i>Obrázek 13: Chemické složení nanesené vrstvy s označením CrN_x</i>	30
<i>Obrázek 14: Povrch oceli ČSN 12 050 znázorněný rastrovacím elektronovým mikroskopem</i>	31
<i>Obrázek 15: Povrch vrstvy s označením CrN_x znázorněný rastrovacím elektronovým mikroskopem</i>	31
<i>Obrázek 16: Drsnost povrchu u oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem a povrchovou vrstvou CrN_x</i>	32
<i>Obrázek 17: Drsnost povrchu u oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN_x</i>	32
<i>Obrázek 18: Zařízení Struers pro měření tvrdosti</i>	35
<i>Obrázek 19: Tribometr TRB</i>	37
<i>Obrázek 20: Keramické kuličky Al₂O₃</i>	37
<i>Obrázek 21: Tribometr před zahájením procesu měření</i>	38
<i>Obrázek 22: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 a kuličky Al₂O₃ po tribologii na sucho</i>	39
<i>Obrázek 23: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 s vrstvou CrN_x a kuličky Al₂O₃ po tribologii na sucho</i>	40
<i>Obrázek 24: Tribologické měření s použitím hydraulického oleje</i>	41
<i>Obrázek 25: Tribologický proces měření a vznik opotřebení na povrchu oceli</i>	41
<i>Obrázek 26: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 a kuličky Al₂O₃ po tribologii za použití hydraulického oleje OHHM-32</i>	42
<i>Obrázek 27: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 s vrstvou CrN_x a kuličky Al₂O₃ po tribologii za použití hydraulického oleje OHHM-3</i>	43
<i>Obrázek 28: Speciální váha pro měření množství nanočástic</i>	44
<i>Obrázek 29: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 a kuličky Al₂O₃ po tribologii za použití hydraulického oleje OHHM-32 aditivovaného nanočásticemi SiO₂ a Al₂O₃</i>	45
<i>Obrázek 30: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 s vrstvou CrN_x a kuličky Al₂O₃ po tribologii za použití hydraulického oleje OHHM-32 aditivovaného nanočásticemi SiO₂ a Al₂O₃</i>	45

Seznam grafů

<i>Graf 1: Porovnání parametrů plošné drsnosti povrchu Sa a Sz po měření drsnosti povrchu u obou ocelí</i>	34
<i>Graf 2: Průměrná šířka opotřebení povrchu</i>	46
<i>Graf 3: Opotřebení povrchu kuličky</i>	47
<i>Graf 4: Koeficient tření u oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem a povrchovou vrstvou CrN_x oproti kuličce z materiálu Al₂O₃ při tření na sucho</i>	47
<i>Graf 5: Koeficient tření u oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem oproti kuličce z materiálu Al₂O₃ při použití hydraulického oleje</i>	48
<i>Graf 6: Koeficient tření u oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN_x oproti kuličce z materiálu Al₂O₃ při použití hydraulického oleje</i>	48
<i>Graf 7: Koeficient tření u oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem oproti kuličce z materiálu Al₂O₃ při použití hydraulického oleje aditivovaného nanočásticemi</i>	49
<i>Graf 8: Koeficient tření u oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN_x oproti kuličce z materiálu Al₂O₃ při použití hydraulického oleje aditivovaného nanočásticemi</i>	49

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Chemické složení povrchu oceli ČSN 12 05</i>	29
<i>Tabulka 2: Chemické složení povrchu vrstvy s označením CrN_x</i>	30
<i>Tabulka 3: Parametry drsnosti povrchu podle analýzy mechanického profilometru u oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem</i>	34
<i>Tabulka 4: Parametry drsnosti povrchu podle analýzy mechanického profilometru u oceli ČSN 12 050 s naneseným povlakem CrN_x</i>	34
<i>Tabulka 5: Tvrdost povrchové vrstvy CrN_x dle Knoop</i>	36
<i>Tabulka 6: Tvrdost vyleštěného povrchu dle Knoop</i>	36
<i>Tabulka 7: Průměrná šířka opotřebení povrchu</i>	46
<i>Tabulka 8: Opotřebení povrchu kuličky</i>	46

Seznam označení

Označení	Význam označení	Jednotka
Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý	[-]
C	Uhlík	[-]
Cr	Chrom	[-]
CrN _x	Povrchová vrstva	[-]
Cu	Měď	[-]
Fe	Železo	[-]
Mn	Mangan	[-]
Mo	Molybden	[-]
N	Dusík	[-]
Ni	Nikl	[-]
P	Fosfor	[-]
S	Síra	[-]
Sa	Průměrná aritmetická výška	[μm]
Si	Křemík	[-]
SiO ₂	Oxid křemičitý	[-]
Sku	Špičatost	[μm]
Sp	Největší výška výstupku	[μm]
Sq	Průměrná kvadratická výška	[μm]
Ssk	Šikmost rozdělení výšek	[μm]
Sv	Největší hloubka prohlubně	[μm]
Sz	Největší výška	[μm]
V	Vanad	[-]
W	Wolfram	[-]

1 Úvod

Vznik a vývoj člověka je od samého počátku výrazně ovlivněn materiály. Jejich samotná výroba a uplatnění sahá do doby 3 500 000 př. n. l. Při pohledu zpět do historie naší země, můžeme říci, že první výskyt materiálů, který razantně změnil lidský pohled na život se odehrál v nejstarší dějinné etapě Pravěk. Lidské potřeby byly tak silné, že donutily člověka objevovat dary přírody, aby byl schopný se o sebe sám postarat. I v této etapě, kterou si nedovedeme ani zdaleka představit, musel být každý schopný zajistit si prostředky na vlastní obživu. Zde poprvé člověk spatřil důležitost a podstatu materiálů, které mu výrazně ulehčili práci při hledání potravy a stavby obydlí.

Pravěk byl, ale pouhým začátkem, který odstartoval zdokonalování lidské tvořivosti a dovednosti při práci se surovinami naší planety. Postupem času, se lidé naučili využívat kámen na tvorbu nástrojů, například bulžník a pazourek sloužily jako nástroje na řezání. Čas neustále utíkal kupředu, a s ním i lidská šikovnost. Dokázali se naučit využívat bronz pro tvorbu potřeb, které byly pro jejich život nezbytné. S tím přišla na řadu doba nesoucí název dle používaného materiálu, doba bronzová. Po době kamenné a době bronzové přišla na řadu třetí etapa vývoje lidstva doba železná, poukazující na zdokonalení myšlení a zručnost člověka.

Lidský pohled a jeho tvořivost byla touto etapou natolik ovlivněna, že může být považována za dobu, kdy došlo k velkým změnám v oblasti zemědělství, náboženství a umění. Nejdůležitější pro lidský život, bylo dokázat daný materiál opracovat a vytvořit z něho věc, která ovlivnila jeho růst a také razantně i následující dobu.

Současné technologie jsou oproti první etapě kamenné na takové úrovni, že může být těžko pochopitelné, jak je lidská tvořivost neuvěřitelná. Od samotného kamene, až k tvorbě nanočástic. Současný svět je postavený na průmyslové výrobě, která odebírá velké množství energie. Proto je vhodné hledat možnosti, díky kterým se spotřeba energie bude snižovat.

Pomocí správného způsobu aplikace vyhovujícího maziva a obohacení lubrikantů o nanočástice, jsme schopni ovlivnit tření, snížit velikost opotřebení a tím snížit množství spotřebované energie. Jedna z možností, která by nám mohla pomoci realizovat tuto myšlenku jsou nanomaziva, která jsou tvořena nanočásticemi, či jimi aditivovaná. Jsou to částice o velikosti nanometrů, které se aplikují do maziva, kde se rozptýlí v celém objemu. Pomocí nanočástic bychom mohli dosáhnout snížení tření mezi plochami, které jsou ve vzájemném kontaktu a tím i snížení opotřebení. Cílem této bakalářské práce je pozorovat změny tribologického chování lubrikantů před a po aditivaci nanočásticemi.

2 Teoretická část

Průmysl v současné době se vyskytuje na nejvyšší úrovni. Dochází ke stále větší produkci produktů a spotřebě materiálů. Výrobky, které se vyrábějí v průmyslové oblasti jsou často produktem zařízení. Zařízení jsou navržena pro produkci daného výrobku, a aby docházelo k bezproblémovému chodu zařízení, které je v provozu každý den, musí být za určitou dobu dělána údržba, v které se doplní chybějící provozní kapaliny a dojde ke kontrole celkového stavu stroje. [1]

2.1 Vlastnosti a využití hydraulických olejů

Do provozních kapalin stroje sloužícího k výrobě daného výrobku, můžeme zahrnout olej. Uplatnění olejů v praxi je na vysoké úrovni. V podstatě každé zařízení, které je v provozu potřebuje pro klidný chod olej, který dokáže ovlivnit tření. Velice rozsáhlé použití v praxi mají oleje, z jejichž názvu můžeme odvodit název zařízení, v kterých se významně uplatňují. Rozsáhlé uplatnění těchto olejů je především v hydraulických zařízeních, především se jedná o soustavy, které se vyznačují pomocí hydraulického systému. Jedná se o oleje hydraulické, které můžeme považovat za velice používané v oblasti průmyslové praxi. [2]

Můžeme je nalézt na žebříčku nejvíce používaných olejů, a v praxi zastupují velice rozšířenou skupinu olejů, s kterou se můžeme setkat zřejmě v každé průmyslové budově, která se zaměřuje na výrobu. Každý člověk si pod pojmem olej dokáže představit tekutou hmotu, která z části připomíná tekutost medu. Ovšem u oleje, je tekutost dána pomocí jeho viskozity. Je tomu tak i u hydraulického oleje. Hydraulický olej má za účel snížit, popřípadě omezit tření, ke kterému dochází v zařízení. Jak již bylo zmíněno, i hydraulický olej představuje tekutou hmotu, která je schopna při aplikování vytvořit tzv. film, jehož účelem je zmírnění tření. [1]

Zařízení se skládá z určitého počtu součástí, která umožňují vytvořit chod. Všechny součásti, které zařízení obsahuje mají svou dobu životnosti. Olej dokáže ovlivnit tření, ale také i životnost, popřípadě opotřebení součástí. Většina olejů používaných v praxi má viskózní vlastnosti na přijatelné úrovni, některé i na velmi dobré úrovni. Čím je viskozita u oleje větší, tím dochází k většímu zpomalení částí, které jsou obsaženy v oleji. Pokud je viskozita menší je tomu naopak. Hydraulické oleje mají schopnost prodloužit životnost dílu, popřípadě celé součásti, a to především díky jejich odolnosti proti oxidaci. Můžeme říci, že také mezi další vlastnosti většiny olejů patří odolnost proti vzniku korozi. I přesto, že oleje mají schopnost odolat oxidaci, a tím dokáží prodloužit životnost dané součásti, je předem jasné, že i tak daná součást má určitou dobu životnosti. Po uplynutí této doby musí být součást vyměněna. Stejně tak je tomu i u olejů. Příkladem může být olej v automobilu, který se po ujetí daného počtu kilometrů musí vyměnit. Z toho plyne, že díky olejům, jsme schopni prodloužit životnost i opotřebení součástí, a proto nás čeká výměna součástí za delší dobu, než kdyby tomu bylo bez použití olejů. Mezi další vlastnosti hydraulických olejů můžeme zařadit jejich nestlačitelnost, která je důležitá při plnění jejich funkce. [1]

Často diskutovaným tématem je životní prostředí, které bychom měli všichni chránit, a snažit se ho zlepšit, protože většina průmyslové produkce má na životní prostředí špatný dopad. A zde se hydraulické oleje vyznačují svým přijatelným dopadem na životní prostředí. Přijatelný dopad na životní prostředí mají zejména díky obsahu tzv. fosfátových esterů, které vynikají svojí nehořlavostí. [2]

2.1.1 Rozdělení hydraulických olejů do dvou skupin

Hydraulické oleje můžeme rozdělit dle aditiv, která vytvářejí přísady sloužící ke změně vlastností oleje. Dále můžeme hydraulické oleje rozdělit dle jejich viskozity. Obecně můžeme o viskozitě říci, že závisí na teplotě. Hydraulický olej se skládá, z jichž zmiňovaných fosfátových esterů, které mají přijatelný dopad na životní prostředí, ale základní složku tvoří tzv. základový olej. [3]

2.2 Základový olej, jako základ hydraulického oleje

V průmyslové oblasti, je výroba nesmírně důležitým faktorem, který má za následek prosperitu a rozvoj celé firmy či společnosti. Pojem výroba zahrnuje různé druhy technologií, zařízení, a různé druhy procesních kapalin. I samotný základový olej, který tvoří základ hydraulického oleje, se rozděluje dle výrobního procesu, a to na oleje minerální, který můžeme považovat za nejvíce používanou kapalinu v průmyslové praxi a na oleje syntetické. [2] [3]

Kvalita základového oleje, je z větší části ovlivněna způsobem jeho výroby, a proto se často vyrábí základový olej z tzv. destilačních zbytků, které se vytvářejí při produkci motorové nafty. Pomocí destilačních zbytků, můžeme vytvořit vysoce kvalitní základový olej. Při koupi kteréhokoliv oleje, by nás výrobce měl informovat o složení, které z určité části poukazuje na kvalitu oleje. I základový olej má svá kritéria, která nám pomáhají lépe odhalit, zda se jedná o olej kvalitní či nikoliv. [1] [3]

Mezi první kritéria poukazující na kvalitu základového oleje je vyšší viskózní index. Další kritérium, které nám pomůže rozlišit kvalitní olej od oleje nekvalitního je síra. Především menší obsah síry v základovém oleji, poukazuje na vyšší kvalitu, ale zároveň musí být v základovém oleji obsaženo vyšší množství nasycených uhlovodíků, jediné tak, je zaručena kvalita. Základový olej, jak již bylo zmíněno, tvoří základ hydraulického oleje, který se připravuje pomocí smíchání několika základových olejů, jejichž výsledkem je směs, která se dále použije pro výrobu hydraulického oleje. [3]

2.2.1 První dělení základového oleje, z hlediska výroby

Životní prostředí je každý den ovlivňováno průmyslovou výrobou, automobily, nečistotami, skleníkovými plyny. Negativní dopad na životní prostředí mají z velké části i oleje, pokud se nejedná o kapaliny, které mají příznivý dopad na životní prostředí. V současné době, se hojně využívá benzínové a ropné palivo, pro pohon automobilů. Ale nesmíme zapomenout zmínit, že ropa neslouží pouze jako palivo do automobilů, ale dá se z ní vytvořit tzv. minerální olej. V první části můžeme základový olej z hlediska výroby rozdělit na olej minerální, který vzniká pomocí frakční destilace ropy. [3] [5] [6]

Minerální olej (Obr. 1) tvoří veliké procento využití v průmyslové oblasti, a nemá dobrý dopad na životní prostředí, proto by mělo docházet k jeho částečnému nahrazení kapalinami, které tolik neovlivňují životní prostředí. Výroba minerálního oleje probíhá pomocí tepla, které se přivede a působí na látky. Tyto látky jsou určitou dobu zahřívány, a to až na teplotu, kdy dojde k samovolnému odpařování jednotlivých frakcí. Představme si lahev obyčejné vody, vedle které postavíme láhev s minerálním olejem. [6] Je velice pravděpodobné, že nebudeme schopni pouhým okem rozeznat, jaká kapalina se v dané láhvi nachází. Vzhledem jsou jsi tyto kapaliny velice podobné, protože mají bezbarvou barvu, a jsou stejně průhledné. Produkce minerálních olejů není považována za náročnou, a proto není potřebné do výroby investovat větší obnos financí. Náklady na výrobu jsou velice přijatelné, a právě díky nízkým nákladům dochází k výrobě většího množství. [1] [5]



Obrázek 1: Vzor minerálního oleje [4]

2.2.2 Druhé dělení základového oleje, z hlediska výroby

Do prvního dělení základového oleje jsme zařadili již zmiňovaný minerální olej, který především vyniká svojí průhledností a nízkým nákladům na produkci. Do druhého dělení základového oleje, se řadí olej, který má podstatně vyšší nároky na produkci a jeho výroba je složitější. Jedná se o syntetický olej. [1] [3]

U již zmiňovaného minerálního oleje, probíhá produkce pomocí frakční destilace, ale u syntetických olejů jsme schopni předem stanovit jejich vlastnosti. Proto se u syntetických olejů, kde se dají stanovit vlastnosti předem dosáhne standartní kvality, a na rozdíl u minerálních olejů, které jsou složeny pomocí uhlovodíků, není možné vlastnosti stanovit předem. [1] [2]

Syntetický olej se vyrábí pomocí syntézy, ale samotný postup výroby je velice rozsáhlý, a dělí se do několika kroků. Jak již bylo zmíněno, výroba, produkce probíhá pomocí syntézy. Tato metoda výroby syntetického oleje probíhá v první části tzv. krakováním, což umožňuje rozložit molekuly benzínu na řetězce, jejichž velikost je podstatně kratší a dochází k tomu, že jsou molekuly obohaceny o plyn. V druhé části dochází k samotné syntéze, kdy se molekuly chemicky spojí. [3]

V další etapě probíhá vakuová destilace, která odděluje jednotlivé frakce, které vznikly při produkci syntézy. Hlavní podmínkou pro vznik vakuové destilace, je snížený tlak. Kdyby byl tlak vyšší, popřípadě se rovnal tlaku atmosférickému, může konstatovat, že by docházelo ke špatnému vypařování jednotlivých frakcí, a tím by proces probíhal nesprávným způsobem. Poslední část, výroby syntetického oleje tvoří tzv. hydrogenace, která umožní do určitých míst molekul navázat atomy vodíku. [2] [3]



Obrázek 2: Schéma znázorňující složení syntetického oleje [3]

2.3 Kapaliny, které mají příznivý dopad na životní prostředí

V první řadě je důležité zmínit, že většinu výrobní produkce doplňují právě oleje, které nemají moc dobrý dopad na životní prostředí. Můžeme říci, že do kapalin, které nemají pozitivní dopad na životní prostředí patří již zmiňovaný minerální olej. Jeho zastoupení v průmyslové výrobě je poměrně velice rozšířené. Proto by postupem času, mělo docházet k nahrazování těchto kapalin, kapalinami, které mají dobrý dopad na životní prostředí neboli jejich působení na životní prostředí není tak razantní. [3]

Můžeme říci, že do skupiny, která nemá tak špatný vliv na prostředí patří ekologické kapaliny. Jedná se především o kapaliny, které jsou pro životní prostředí příznivé, a je možné je používat. [1] [3]

Průmyslová výroba se nachází na vrcholu, je proto logické, že dochází k používání procesních kapalin každý den, a jejich využívání stále stoupá. Oleje, které se v současné době používají v oblasti průmyslu, jsou především vyráběny z ropy, a proto je zapotřebí, aby docházelo k postupnému přechodu na kapaliny, které svými vlastnostmi a složením nijak nepůsobí na životní prostředí. [2] [3]

Zatím se můžeme setkat s kapalinami, které mají příznivý dopad v menší míře, jedná se především o rostlinné oleje, který je v současné době nejvíce používán, jakož to ekologicky příznivá kapalina. Dále se můžeme setkat s tzv. polyglykoly, a také se syntetickými estery. [1] [2] [3]

2.3.1 Rostlinný olej, jako ekologicky příznivá kapalina

Nejvíce rozšířenou a zároveň používanou ekologickou kapalinou jsou rostlinné oleje. Nejvíce se využívá rostlinného oleje ve formě řepkového oleje. Na rozdíl od oleje minerálního a syntetického se rostlinné oleje vyrábí formou, která je založena na rostlinné bázi. Hlavní aspekt ovlivňující životnost je oxidace. Široká škála olejů je odolná proti oxidaci, což prodlužuje jejich životnost, ale u rostlinných olejů je tomu naopak. Mají především menší odolnost proti oxidaci, a jejich použití je ovlivněno teplotou, která by neměla být v případě použití tohoto oleje vyšší než 70°C. [3]

Samotný název olej, vypovídá o určité hmotě, která při aplikaci na daný povrch, součást nebo zařízení vytvoří určitou povrchovou ochranu neboli hmotu. I rostlinné oleje se používají ke snížení tření a prodloužení životnosti součástí, a u těchto olejů je dobré vyzdvihnout jejich mazací schopnosti, která jsou na velice dobré úrovni. [3]

2.3.2 Polyglykoly, jako ekologicky příznivé kapaliny

Další ekologicky příznivou kapalinou jsou polyglykoly. Charakteristická vlastnost polyglykolů, je především dobrá tekutost za nízkých teplot. Při teplotách okolo -40°C dochází u polyglykolů k tuhnutí. Dají se zařadit do ekologicky příznivých kapalin, protože se vyznačují velice dobrou rozložitelností. [3]

2.3.3 Syntetické estery, jako ekologicky příznivé kapaliny

Syntetické estery, se stejně jako rostlinné kapaliny vyznačují dobrou mazací schopností. Pokud porovnáme syntetické estery například s minerálním olejem z hlediska ceny, je nákladnost výroby syntetický esterů daleko větší. Faktor, který hraje velice důležitou roli ovlivňující délku životnosti syntetických esterů je teplota. [3]

2.4 Aditiva do hydraulických olejů, za účelem zlepšení jejich vlastností

Aditiva do hydraulických olejů se přidávají proto, aby docházelo ke zlepšení vlastností oleje. Aditiva jsou tedy přísady, které se aplikují přímo do olejů, a dokáží zlepšit jejich standardní vlastnosti. Musíme ale brát v potaz, že není možné aplikovat jakékoliv množství aditiv přímo do oleje. [3]

Množství, které se smí aplikovat do oleje, je předem stanoveno výrobcem, a musí se na to brát ohled. Výrobce volí množství přísad a také druh přísady dle norem. Množství přísad v oleji, se dá charakterizovat pomocí procentuálního množství. Přísady, které se aplikují přímo do oleje, by se měly vyskytovat v rozmezí 1 až 20%. Aditiva, která se používají do olejů se také rozdělují na polární a nepolární, a to z důvodu jejich chemické struktury. [1] [3]

Rozdělení aditiv dle chemické struktury

Jak již bylo zmíněno, aditiva slouží pro zlepšení vlastností hydraulických olejů. Hydraulický olej se tvoří ze základového oleje, který se následně dělí na olej minerální a syntetický, a dělení se provádí i u aditiv, která se aplikují jako přísada přímo do oleje. Aditiva neboli přísady, se dělí na:

- **Povrchově aktivní aditiva polární**

Polární aditiva svojí schopností dokáží výrazně zlepšit vlastnosti oleje. Jejich významný účinek můžeme pozorovat na povrchu součástí, kam se tato aditiva aplikují. V podstatě dokáží na povrchu vytvořit film, který slouží jako ochrana povrchu. [2] [3]

Zejména dokáží potlačit až zabránit vzniku koroze, která často ohrožuje povrchy součástí. Uplatnění těchto aditiv nachází také svůj účinek při práci s nečistotami. Tato aditiva se také používají proto, aby nedocházelo k usazování nečistot na povrchu součástí, a to svojí aktivitou, která probíhá přímo na daném povrchu součástí. [1] [3]

- **Povrchově neaktivní aditiva nepolární**

Mezi polárními a nepolárními aditivy panují určité rozdíly, které je zapotřebí zmínit. Hlavním rozdílem, kterým se výrazně nepolární aditiva liší od polárních, je jejich neaktivita na povrchu. Můžeme říci, že nepolární aditiva nevytvářejí žádnou aktivitu na povrchu součástí. [1] [3]

Aplikace a použití nepolárních aditiv se uplatňuje v rozptýlení těchto aditiv do celkového objemu oleje. Viskozita oleje, se pomocí nepolárních aditiv dokáže zlepšit, a často se využívají pro ochranu těsnění zejména pryžového těsnění, kde dokáží prodloužit jeho funkčnost. [3]

2.4.1 Aditiva ovlivňující povrch součástí

Tato aditiva se dělí do pěti skupin. První skupinu tvoří modifikátory tření. Modifikátory tření umožňují, aby tření, které vznikne mezi dvěma plochami, se dostalo na hodnotu, kterou chceme nebo vyžadujeme. Do druhé skupiny se řadí aditiva neboli přísady, které dokáží potlačit nebo zabránit vzniku koroze na povrchu součástí. Jejich hlavním úkolem je zabránit vzniku koroze, která se vytvoří na povrchu součástí vlivem oxidace. Jak již víme, oxidace je hlavní faktor, který ovlivňuje vznik koroze. Účinek těchto aditiv, spočívá v nanesení na povrch požadované součásti, kde se vytvoří tenký film, který dokáže zamezit vzniku koroze. [2] [3]

Do třetí skupiny patří aditiva, která zvyšují odolnost proti opotřebení. Čím větší je odolnost proti opotřebení, tím se také může prodloužit životnost celkové součásti. Opotřebení často vzniká mezi tělesy, součástmi, které pracují v kontaktu. Představme si dvě tělesa, která pracují ve vzájemné blízkosti až ve

vzájemném kontaktu. Když dochází ke vzájemnému kontaktu mezi součástmi, je logické, že bude docházet k opotřebení povrchů obou součástí. Aditiva pro zvýšení odolnosti proti opotřebení neboli zvýšení ochrany součástí spočívají v nanesení na oba povrchy součástí, které jsou spolu v kontaktu. Aditiva na obou površích vytvoří film, který zamezí přímého styku obou ploch, a tím se docílí menšího opotřebení. Nesmíme zapomenout další důležitou skupinu, do které patří detergenty. Jedná se o čtvrtou skupinu, která nalézá své uplatnění především u lubrikantů. [1] [2] [3]

Lubrikant neboli mazivo, se aplikuje na povrchy součástí, zařízení. Aplikace těchto lubrikantů není ovšem, tak jednoduchá. Před nanesením lubrikantů na povrch součástí, je důležité odstranit veškeré nečistoty, které se na povrchu nachází. Ten to krok, je důležitý hlavně z hlediska přilnavosti lubrikantu. Mohlo by se stát, že při nanesení lubrikantu na místo, kde se nachází nečistoty by docházelo ke špatné přilnavosti, což má za následek, špatné vykonávání funkce lubrikantu. Tato aditiva můžeme také uplatnit, jako odstraňovač nečistot z povrchu součástí. Představme si povrch, na kterém se vyskytují nečistoty. Na tento povrch nanese detergenty, a pomocí nich jsme schopni docílit, aby se nečistoty na povrchu rozpustily. [1] [2] [3]

Do páté skupiny se řadí disperzanti, kteří se především uplatňují jako přísady do olejů, a to z jednoho prostého důvodu. Ať se jedná o povrchy součástí, kde se mohou hromadit nečistoty, tak i u olejů se můžeme setkat s nečistotami, které se hromadí přímo v celém objemu oleje. [1] [2] [3]

Olej musí protékat, určitými kanálky a kdyby se tyto nečistoty hromadily, mohlo by docházet ke stále horšímu protékání, a proto se do olejů aplikují disperzanti, kteří jsou schopni zabránit nečistotě v usazení, a dochází k pohybu těchto nečistot v celém objemu oleje, což má za následek bezproblémový odtok skrze kanálky. [2] [3]

2.4.2 Aditiva sloužící pro dosažení lepších vlastností olejů

Mezi přísady, které slouží pro dosažení lepších vlastností oleje, se řadí modifikátory viskozity. U samotné viskozity, můžeme považovat za důležitý faktor teplotu. Stejný faktor také ovlivňuje modifikátory viskozity. Tato aditiva jsou schopna nám umožnit použití olejů i v jiných teplotních mezích. Již zmiňovaná viskozita, zde hraje velice důležitou roli. Pokud není ustálená, není možné olej použít v jiném teplotním rozsahu, popřípadě rozmezí, než je dáno. Modifikátory viskozity, nám umožní viskozitu uklidnit neboli stabilizovat a v případě viskozity víme, že je závislá na teplotě, a pomocí stabilizace dochází ke snižování závislosti, a následně se olej může použít i ve vyšších teplotách, než tomu bylo dříve. [1] [3]

Další velice důležitá aditiva, která se používají pro dosažení lepších vlastností olejů se nazývají přísady zlepšující bod tuhnutí. Jak již víme, modifikátory viskozity jsou ovlivňovány viskozitou, i přísady pro zlepšení bodu tuhnutí mají důležitý faktor, na kterém to závisí, jedná se především o hustotu. Bod tuhnutí představuje teploty, které se nachází na nižší stupnici. Při nižších teplotách se u některých z olejů mohou zhoršovat jejich vlastnosti, především mazací schopnost. Pokud se olej používá při nižších teplotách, dochází ke zvyšování hustoty, což zhoršuje již zmiňované mazací schopnosti. Z toho důvodu se aplikují přísady pro zlepšení bodu tuhnutí. [2] [3]

Mezi další přísady, které nacházejí v praxi své opodstatnění především při ochraně gumového materiálu patří aditiva používaná k ochraně elastomerů. V praxi se využívají součásti, které jsou vytvořeny pouze z plastového materiálu, ale také i z materiálu gumového. Tyto součásti, se v mnoha případech využívají jako těsnění. V případě těsnění, je důležité zmínit, že jeho náplní práce je těsnit, což plyne i ze

samotného názvu. Těsnění těsní, a proto je neustále v kontaktu s určitou procesní kapalinou, kterou v mnoha případech tvoří olej. Těsnění z gumového materiálu má určitou dobu životnosti, nevydrží věčně. V podstatě se po určité době musí vyměnit za nové. Aditiva pro ochranu elastomerů, jsou schopna ovlivnit životnost těsnění, a zároveň dokáží i snížit opotřebení celého dílu. [3]

2.4.3 Aditiva sloužící k ochraně oleje

Na trhu se v současné době vyskytuje spousta produktů, zařízení, která jsou vytvořena z určitých druhů materiálů. Materiály, které se používají pro tvorbu zařízení nemají životnost napořád. Každý materiál je ovlivněn okolními vlivy, a proto musíme předem předpokládat, že za určitou dobu bude muset dojít k výměně. [1] [2] [3]

Je to podobné i u provozních kapalin především olejů. Mají svojí určitou dobu životnosti, která když odplyne, je potřeba starý olej vyměnit za nový. A to z jednoho prostého hlediska, starý olej by už nemusel tak dobře vykonávat svoji funkci. Abychom prodloužili životnost olejů používáme k tomu následující aditiva. Aditiva, která umožňují ochranu oleje, můžeme rozdělit do tří skupin. [1] [2] [3]

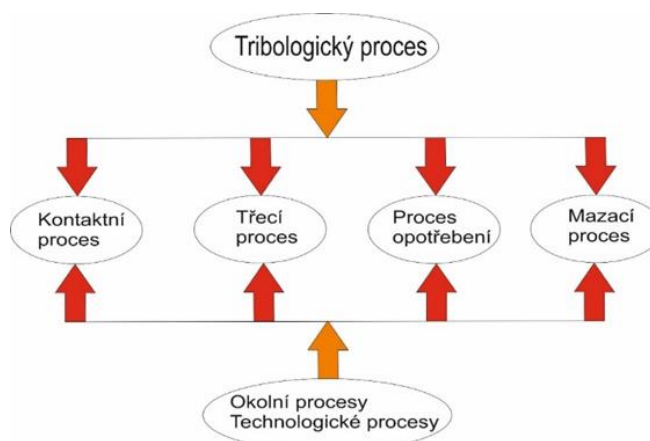
Do první skupiny patří aditiva, která umožňují deaktivaci kovů. V objemu oleje se mohou vyskytovat nečistoty, ale součástí objemu oleje jsou i kovové částičky. Jejich velikost je miniaturní spíše ji můžeme přiřadit k velikosti mikroskopické. Kovové částičky, které se nachází v objemu oleje mají povrchy, na kterých dochází ke vzniku reakcí. Reakce jsou chemického rázu. Aditiva nazývané deaktivátory kovů, umožní zabránit vzniku těchto reakcí, a jejich výskyt je především orientován na povrchu kovové částičky. [1] [3]

Druhá skupina vyniká svojí schopností prodloužit, popřípadě ovlivnit životnost olejů. Často se používají aditiva, která se aplikují, aby došlo k zabránění vzniku pěny, která se tvoří na oleji. Pěna vyskytující se na oleji může mít negativní dopad na životnost oleje, a tím je schopna ovlivnit dobu, po kterou může být olej použit. Pokud dojde k vytvoření pěny na oleji, nastává situace, která umožní zrychlit proces oxidace. Proto se aplikují přísady, aby se zabránilo vzniku pěny, a tím se prodloužila délka životnosti oleje. [1] [2] [3]

2.5 Tribologické chování a únava materiálu třecí dvojice

2.5.1 Charakteristika tribologie

Představme si dvě tělesa v prostoru, která nám pomohou lépe si upřesnit pojem tribologie. Obě dvě tělesa mají svůj povrch, a pokud se tyto povrchy snaží k sobě přiblížit, tak dochází k činnosti. [8] [9]



Obrázek 3: Schéma znázorňující tribologický systém [3]

Lépe řečeno, každý povrch se projevuje pomocí svého chování. Přiblížení povrchů, ke kterému dochází mezi součástmi, je možné studovat pomocí tribologie, která se specializuje na činnost, popřípadě chování povrchů, které se snaží o vykonání vzájemného pohybu, anebo již ve vzájemném pohybu jsou. [8] [9]

2.5.2 Tribologický systém a jeho procesy

- ***První vazba - kontaktní proces***

V tribologickém systému se vyskytují vazby, které jsou spjaté mezi všemi členy. První proces, který se nachází hned na začátku tribologického systému a je první vazbou se nazývá kontaktní proces. [8] [9]

Dle názvu je patrné, že kontaktní procesy budou souviset s kontakty, které vznikají mezi členy nacházející se v tribologickém systému, protože všechny procesy v tribologickém systému jsou spjaté vazbami, a proto se kontakt projeví mezi všemi. Kontakt, ke kterému dojde, dokáže ovlivnit celý systém, jako celek. [8]

- ***Druhá vazba - třecí proces***

Tření vždy vzniká mezi součástmi, povrchy, které jsou společně v kontaktu. Představme si dvě tělesa, u kterých dochází k tření mezi povrchy. Třecí proces, ke kterému dochází mezi povrchy obou součástí, můžeme pro lepší pochopení považovat za energii, která při tření vzniká. Tato energie se na začátku tření výrazně snižuje, a i v celém průběhu třecího procesu. [1] [8] [9]

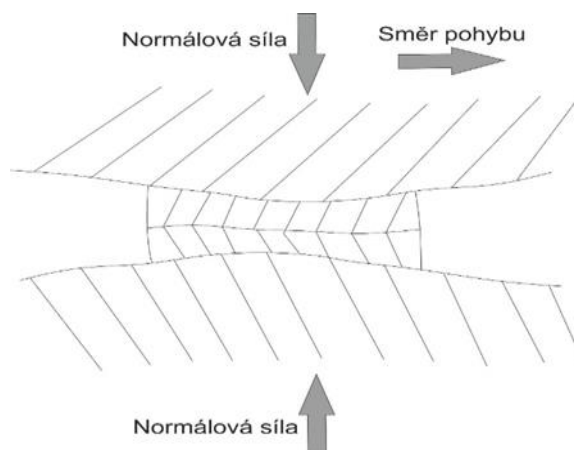
Třecí proces můžeme rozdělit na tření smíšené, které vzniká za pomoci maziva. U smíšeného procesu hraje důležitou roli tloušťka maziva. U tření je známo, že vzniká mezi tělesy, které jsou ve vzájemném kontaktu, stejný princip je i u smíšeného tření. Hlavním předpokladem pro vznik smíšeného tření je mazivo, které když chybí mezi plochami a povrchy těles umožní, aby nerovnosti na obou površích byly ve společném kontaktu. [1] [8] [9]

- ***Třetí vazba - opotřebení***

Jestliže dochází k vytvoření kontaktu mezi dvěma součástmi, můžeme říci, že mezi oběma povrchy dochází k vytvoření tření, a následně se projeví opotřebení materiálu dané součásti. Pojem opotřebení můžeme pochopit, jako změnu stavu dané součásti, povrchu, nebo i zařízení. [8] [9] [10]

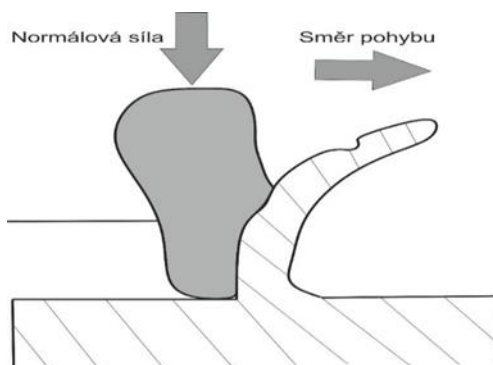
Je to v podstatě změna, která se na první pohled projeví ve formě snižování obsahu materiálu na povrchu dané součásti. Jakmile dochází ke snižování materiálu neboli úbytku, bude ten to jev doprovázen změnami v oblasti tvaru součásti. Opotřebení se rozděluje do několika základních skupin. [9] [10]

Do první skupiny se řadí adhezní opotřebení (Obr. 4). Opotřebení nastává, pokud se povrchy součástí vyskytují u sebe a dochází k tření, anebo když jsou povrchy součástí ve společném kontaktu. I zde dochází k následnému opotřebení. S adhezním opotřebením, se můžeme setkat z velké části u součástí, které jsou vyrobeny ze stejného materiálu, ale také se adhezní opotřebení vyskytuje, pokud dochází ke kontaktu neboli styku povrchů součástí. Samotné opotřebení, se projeví na obou površích formou nárustků, anebo také je možné pozorovat opotřebení ve formě otvorů. [11]



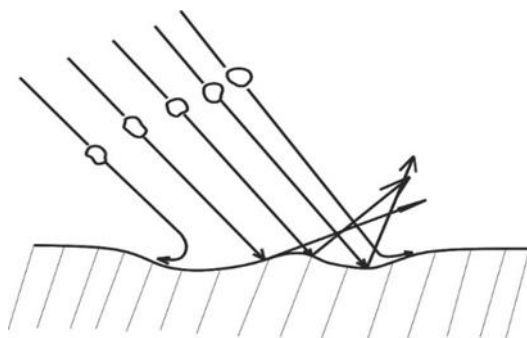
Obrázek 4: Schéma znázorňující adhezní opotřebení [10]

Do druhé skupiny patří abrazivní opotřebení (Obr. 5). Oproti adheznímu opotřebení, můžeme pozorovat nepatrné změny v oblasti použitých materiálů. Především se můžeme setkat s materiály, jejichž tvrdosti jsou poměrně rozdílné, anebo podobné. U abrazivního opotřebení se forma opotřebení projevuje vznikem rýh na povrchu dané součásti. [10]



Obrázek 5: Schéma znázorňující abrazivní opotřebení [10]

Třetí skupinu tvoří erozivní opotřebení (Obr. 6), které opotřebí materiál pomocí proudu kapaliny, a dochází k postupnému oddělení materiálu. Opotřebení, které vznikne na povrchu součásti je rozsáhlé, a je možné takto poničený povrch nazvat poškozeným povrchem. Proud kapaliny, který působí na povrch součásti, umožňuje seřezávat materiál. [10]



Obrázek 6: Schéma znázorňující erozivní opotřebení [10]

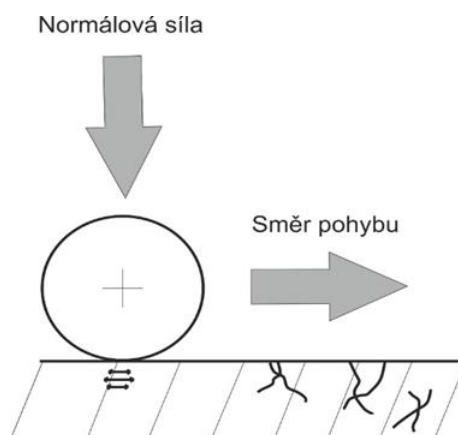
Čtvrtá skupina je tvořena nejznámějším opotřebením, které se nazývá koroze (viz Obr. 7). Koroze se dá charakterizovat přesněji na kovové součásti, kterou když umístíme do venkovního prostředí, bude vykazovat změny, které se projeví na povrchu. Koroze vzniká vlivem působení okolních vlivů. Nejčastěji je vznik koroze podmíněn pomocí oxidace, ale také i pomocí určitých chemických účinků. [9] [10]

Pokud vystavíme kovový materiál těmto vlivům, můžeme očekávat, že za nějakou dobu, dojde k narušení povrchu součásti. Narušený povrch součásti, se zbarví do rezavé barvy, a postupem času, může docházet k odpadávání kousků rezavého materiálu z povrchu součásti. Koroze je velice častý druh opotřebením, který napadá karoserie automobilů, ale i jiné součásti, které jsou vystaveny okolním vlivům klimatu. [9] [10]



Obrázek 7: Schéma znázorňující korozivní opotřebení [12]

Dalším opotřebením, které se řadí do páté skupiny, je únavové opotřebení, které je velice rozšířené ve strojírenském průmyslu. Hlavní faktor, který má za následek vznik únavového opotřebením (Obr. 8) je napětí, které se kumuluje v povrchu součástí, respektive se ukládá v materiálu součástí. A tím, jak se napětí postupně hromadí, dochází k únavovému opotřebením, které se na povrchu součástí, projeví ve formě trhlin, které vzniknou přímo v materiálu součástí. Postupně se počet trhlin může zvyšovat, a tím může dojít až k úplnému rozpadu povrchu. [10] [11]



Obrázek 8: Schéma znázorňující únavové opotřebení [10]

2.6 Studium nanočástic SiO₂, Al₂O₃

Při volbě materiálu závisí na mnoha faktorech, protože každý materiál má své požadované vlastnosti, a je potřeba dle nich uvážit, zda je pro tento typ zařízení vhodný či ne, ale je důležité dbát i na ostatní faktory, které ovlivňují výběr vhodného materiálu. Postupem času dochází k vývoji nových zařízení, technologií a materiálů, které by bylo možné používat v průmyslu, ať už z hlediska lepší konkurence schopnosti, rychlejší produktivity, nebo díky lepším vlastnostem. [17]

Významně a nově rozšířeným pojmem jsou nanočástice, se kterými se stále více můžeme setkat v mnoha odvětvích průmyslu. Jejich uplatnění sahá přes automobilový průmysl až do zdravotnictví. V automobilovém průmyslu, se stal pojem nanočástice velice rozšířený, a to zejména při ochraně laku automobilu. [16] [17] [18]

Pomocí nichž dochází k ochraně laku, a prodloužení životnosti. Uplatnění můžeme také nacházet v textilním průmyslu, kde se s nimi můžeme setkat především při výrobě textilního oblečení. I zde dokáží, stejně jako je tomu v automobilovém průmyslu, zvýšit životnost daného produktu. Jak již bylo zmiňováno u hydraulických olejů, jejich vlastnosti se dají pozměnit pomocí aditiv neboli přísad, které se aplikují přímo do oleje. Nanočástice mají podobný význam jako aditiva, dokáží změnit vlastnosti dané látky. Nanočástice se na trhu vyskytují krátce, a abychom byli schopni znát jejich vlastnosti, a najít jejich správné uplatnění v průmyslové výrobě, jsou pozorovány a zkoumány pomocí nanotechnologie. [16] [18]

Pojem nanočástice sám o sobě, říká, že velikost části je velice omezená, především se jedná o velice malé částice, které dosahují mikroskopických rozměrů a jsou velice ovlivnitelné okolními jevy. Jestliže materiál obsahuje již zmiňované nanočástice, mluvíme o nanomateriálech, kde hlavní stavební prvek představují nanočástice. [18]

U výroby nanočástic, je důležité postupovat, dle správného postupu, ale především je nutné zmínit, že nanočástice samy o sobě tvoří nanosvět, kde se nacházejí o velmi malých až mikroskopických rozměrech. Nanosvět hraje svojí roli, při výrobě samotných nanočástic, a to z následujícího důvodu. Pokud člověk vytvoří hotové struktury, je schopen je přesunout z mikrosvěta přímo do nanosvěta. Podstata je taková, že struktury, které se vyrobí, se dají přesunout přímo do nanosvěta, a zde může docházet ke zmenšování velikosti těchto struktur. [17] [18]

2.6.1 Použití a vlastnosti nanočástic SiO₂

Jedná se o nanočástice oxidu křemičitého, které se uplatňují zejména v automobilovém průmyslu, ale také se s nimi můžeme setkat v každé domácnosti, především v kuchyni, kde se používají v sypaných směsích. Jejich použití zasahuje také i do kosmetiky, kde jsou nanočástice oxidu křemičitého součástí spousty kosmetických přípravků. Zaměříme se nejdříve na jejich uplatnění v automobilovém průmyslu. [18] [19] [20]

Používají se u karoserie automobilů, nebo i jiných karosářských dílů, a to z důvodu zlepšení pevnosti. Každý automobil, který se vyprodukuje, má na své karoserii barevný lak, který si zákazník předem objedná. Nanočástice oxidu křemičitého dokáží lak ochraňovat, což znamená, že nedochází k tak velkému opotřebení. Nanočástice oxidu křemičitého vytvářejí na dané součásti, či laku automobilu ochrannou síť, která vyniká svojí vysokou odolností a pevností. Automobily jsou každý den v provozu, a jsou tak vystavovány okolním podmínkám a nečistotám. Pomocí nanočástic oxidu křemičitého, můžeme

zabránit tvorbě rýh na povrchu automobilu, které často vznikají při běžném provozu od kamínků a dalších nečistot. [18] [19]

Pro život člověka na planetě jsou nejdůležitější dvě základní věci, bez kterých není možné přežít. Mezi tyto dvě věci patří voda a potrava. I v potravinářském průmyslu, se s těmito nanočásticemi můžeme setkat, a to především v sypkých směsích. [19]

Většina domácností si ani neuvědomuje, že nanočástice oxidu křemičitého jsou součástí jejich kuchyně. Dnešní populace, si nedokáže představit přípravu pokrmu bez koření, které slouží k dodání chuti, a tím zlepši celkový pokrm. [19] [20]

Nanočástice oxidu křemičitého se nacházejí právě v již zmiňovaném koření. Další oblast, kde je působení nanočástic oxidu křemičitého rozšířené, je kosmetický průmysl, ve kterém jsou součástí mnoha produktů, ale jejich použití můžeme pozorovat i při výrobě zubní pasty. [18] [20]

2.6.2 Použití a vlastnosti nanočástic Al_2O_3

Nanočástice Al_2O_3 představují nanočástice oxidu hlinitého. Tyto nanočástice nejsou, tak známé jako ta předchozí, ale i přesto v průmyslové praxi mají své opodstatnění. Využití je především v automobilovém průmyslu, kde vytvářejí příměsi do paliv pro automobilovou dopravu. Aby došlo ke vzniku nanočástic oxidu hlinitého je zapotřebí jev, nazývaný se oxidace. [24]

Oxidace vytvoří nanočástice oxidu hlinitého přímo na povrchu materiálu, ale tento proces je podmíněný velice důležitou podmínkou, která musí být splněna, jinak nedojde k vytvoření nanočástic oxidu hlinitého. Pokud v průběhu oxidace není přítomen materiál nazývaný hliník, tak nedochází k tvorbě nanočástic. [23]

Při průběhu oxidace, je důležité, aby byl přítomný hliník, pouze tak, dojde k vytvoření nanočástic, ovšem k jejich vytvoření dojde přímo na povrchu hliníku. Uplatnění těchto nanočástic se dá zaznamenat, také při tvorbě součástí, mezi jejichž vlastnost patří tepelná vodivost. [23] [24]

2.7 Využití nanočástic v průmyslových oblastech

Nanočástice se pomalu, ale jistě stávají novým trendem, který v mnoha průmyslových oblastech pomáhá k dosažení lepších výsledků. V předchozích kapitolách, bylo popsáno, jak aditiva neboli přísady ovlivňují vlastnosti hydraulického oleje. V podstatě i nanočástice lze charakterizovat, jako příměsi, které dokáží ovlivnit vlastnosti látek, a tím rozšířit jejich použití.

2.7.1 Použití v oblasti zdravotnictví

V současné době je stále rozšířená nemoc rakoviny, která má za následek velký úbytek populace. Léčba této nemoci, se provádí pomocí chemoterapií, které jsou schopny tuto nemoc vyléčit. Ovšem není zatím vytvořený lék, který by dokázal tuto nemoc zcela vyléčit, bez jakýchkoliv bolestí či vedlejších účinků. [17]

Nanočástice nepředstavují lék, který by dokázal tuto nemoc naprosto vyléčit, ale jsou schopny léčivou látku, která dokáže zmírnit průběh této nemoci dopravit, až k místu, kde dochází ke vzniku rakovinného bujení. Vytvářejí v podstatě dopravní systém, který přenesení látku přímo do místa, kde má dojít k léčení. Princip spočívá v naplnění nanočástice látkou, která by měla pomoci s léčbou rakoviny. Látka se z nanočástice vypustí, jakmile dojde ke kontaktu s rakovinnými buňkami. [17]

2.7.2 Použití v oblasti textilního průmyslu

Textilní průmysl, se stále snaží přijít s něčím, co nás zaujme, ale zároveň nám pomůže. Oblečení vytváří náš vzhled, ale zároveň slouží jako ochrana proti povětrnostním vlivům, zimě a dešti. Pokud dochází k velkému dešti, je velice pravděpodobné, že některé bundy nejsou vyrobeny z dostatečně kvalitního materiálu, a tím dojde k jejímu promoknutí. [17]

Proto se začaly uplatňovat nanočástice i v textilní oblasti, kde se ve velice malých rozměrech aplikují přímo do materiálu, ze kterého má být vyrobeno oblečení. Díky aplikaci nanočástic přímo do materiálu, jsme schopni ovlivnit vlastnosti daného oblečení. Pokud se nanočástice aplikují do materiálu, z kterého se vytvářejí například bundy, můžeme očekávat, že nebude docházet k promočení, ale naopak, voda se zachytí na povrchu, a následně steče pryč. [17]

2.8 Použití nanočástic jako aditivum do kapalin a jejich vliv na životnost součástí

Jako první kapalinu, která se uplatňuje v automobilovém průmyslu, ale i v průmyslu strojírenském je olej. Olej se často využívá jako kapalina do motorů automobilů, ale také i do různých druhů strojů a zařízení používaných ve strojírenské praxi. Schopnost oleje, je především umožnit zařízení vykonávat bez problému jeho funkci. Slouží také ke snížení tření, dokáží prodloužit životnost zařízení. [27]

Obchodní řetězce nabízejí mnoho druhů olejů, která jsou už od samotné výroby obohacena o aditiva neboli přísady, které zlepšují vlastnost oleje. Pod pojmem zlepšení vlastností oleje, můžeme chápat lepší tekutost oleje, ale také je důležité zmínit, že aditiva zabraňují hromadit nečistoty v oleji, kdyby k takovému hromadění nečistot došlo, docházelo by ke špatnému průtoku oleje v zařízení.

Dále se nanočástice uplatňují u kapalin, bez kterých by automobilová doprava nebyl schopná provozu. Tyto kapaliny se nazývají pohonné hmoty. Mezi pohonné hmoty se řadí dnes nevíce používané a rozšířené palivo nesoucí název benzín, a druhou rozšířenou kapalinu tvoří nafta.

Nanočástice se do olejů přimíchávají, a aplikují se přímo do zařízení, a jsou schopna v místech, kde dochází k největšímu zatížení vytvořit nový ochranný povrch, který dále umožňuje zařízení vykonávat jeho funkci. V automobilovém průmyslu, dochází ke stále větší produkci nových automobilů, ale nesmíme zapomínat, že stále se na dopravních komunikacích vyskytují automobily starší než 15 let. U starších automobilů, se při nastartování mohou objevit vibrace, které motor dříve nevydával. V těchto případech, by se měly motoru poskytnout přísady ve formě nanočástic, které dokáží vibracím zamezit, ale jsou schopny, také snížit hluk motoru.

2.9 Výhody nanočástic v průmyslu

Aplikace nanočástic se provádí buď přímo od olejů, jako aditivum pro zlepšení vlastností, anebo na povrchy materiálů, ze kterých je součást vyrobena. V případě olejů, spočívá hlavní výhoda v prodloužení životnosti, a k obnově povrchu v nejvíce poškozených místech. Otázkou ovšem může být, zda se aplikace nanočástic na povrchy součástí nějak projeví na venek. [28]

Pokud použijeme nanočástice, na povrch materiálu, nedojde k žádné tvarové změně dílu. Nanočástice nevynikají vůní či zápachem, můžeme je spíše nazvat, jako částice bez zápachu. Součásti vytvořené průmyslovou výrobou, mají také i svoji barvu. Nanočástice nejsou schopny po aplikaci nějakým způsobem změnit barvu součástí. [28]

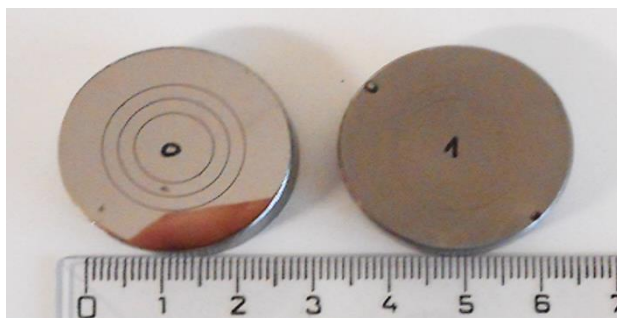
3 Experimentální část

Experimentální část bakalářské práce se zabývá tribologickým chováním mezi dvěma materiály při tření na suchu, po ponoření do hydraulického oleje s komerčním označením OHHM-32 a také v hydraulickém oleji OHHM-32 aditivovaného nanočásticemi SiO_2 a Al_2O_3 . Součástí třecí dvojice jsou ocel ČSN 12 050 s vyleštěným povrchem nebo s povrchovou vrstvou CrN_x a kulička z keramického materiálu Al_2O_3 , nazývaná ještě protikus. Zaměřil jsem se na stanovení drsnosti povrchu vzorku oceli s odlišnými povrchy, a také jsem určil tvrdost dle Knoopu na jednotlivých místech povrchu. Byla realizována analýza chemického složení oceli ČSN 12 050 a po nanesení vrstvy s označením CrN_x .

Cílem této práce je pozorovat a vyhodnotit změnu kluzných vlastností a tím vzniklé opotřebení, při kontaktu třecí dvojice, stanovit velikost opotřebení na povrchu zkoumaného vzorku a protikusu. Jelikož ke kontaktu materiálů z třecí dvojice docházelo na suchu, v hydraulickém oleji OHHM-32 a také v hydraulickém oleji OHHM-32 aditivovaného nanočásticemi SiO_2 a Al_2O_3 , cílem je určit velikost opotřebení sledovaných povrchů a prokázat zlepšení užitečných vlastností po nanesení povrchové vrstvy CrN_x na oceli ČSN 12 050.

3.1 Popis a příprava vzorků

Vzorky tvoří ocel ČSN 12 050 s vyleštěným povrchem a povrchovou vrstvou CrN_x o průměru 30 mm (Obr. 9). Pro tribologické měření byl povrch oceli pouze vyleštěn a nemá žádnou povrchovou ochranu. V druhém případě má ocel povrchovou vrstvu CrN_x , která vytváří ochranný povlak. Povrchová vrstva CrN_x vzniká pomocí metody magnetového naprašování. V první fázi dochází k adhezivnímu CrN deponovanému souběhu oblouku a magnetronu. Jádrem vrstvy má 15 μm a je tvořeno s přibližně 30% až 70% obsahem dusíku s tvrdostí více než 24 GPa. Závěrečná vrstva má tloušťku 5 μm a vykazuje sníženou tvrdost v rozmezí od 10 do 20 GPa. [31] [32]



Obrázek 9: Vzorky použité při tribologii

3.1.1 Vlastnosti uhlíkových ocelí ČSN 12 050

Ocel představuje slitinu železa a uhlíku, kdy uhlík má zastoupení do 2,14 % a dalšími prvky, které se do oceli dostanou v průběhu její výroby. Jedná se především o Mn, Cu, Si, S, P. Samozřejmě je možné do oceli dodat další prvky, které se mohou nazvat prvky přísadovými. Mezi ně patří W, Cr, V, Mo, Ni. [29]

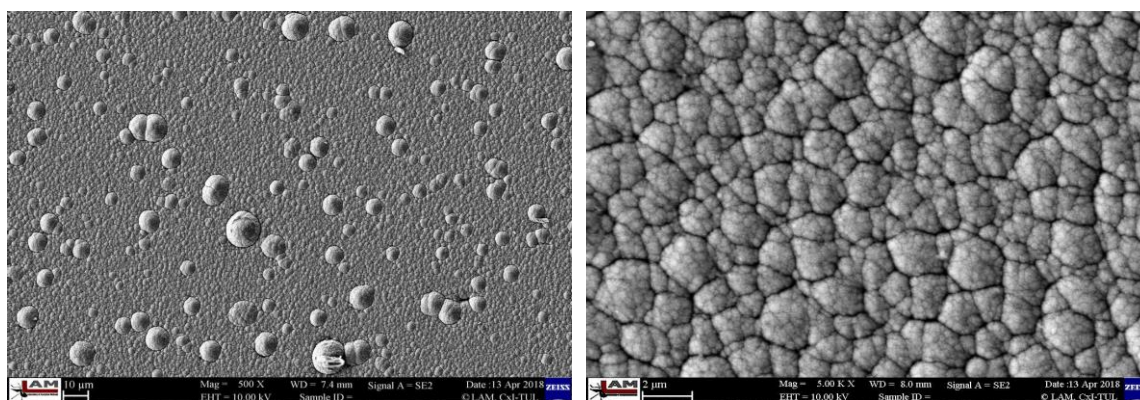
Ocel ČSN 12 050, která slouží k zušlechťování, se může dále také použít k povrchovému kalení. Jedná se o ocel uhlíkovou, kde jsou především zastoupeny prvky Fe a C, a je možné se dále setkat s prvky, které se do oceli ČSN 12 050 dostali při výrobě, a to může být prvek S, P, Si, Mn. Mez pevnosti

oceli ČSN 12 050 se pohybuje v rozmezí 460-1060 MPa, mez kluzu 275-590 MPa, tvrdost dle Brinella 183-300 HB. Množství uhlíku v oceli ČSN 12 050 je od 0,42% do 0,50 %. Velice často se tato ocel uplatňuje při výrobě ozubených kol, klikových hřídelů do automobilů, dále pro vřetena, která se uplatňují u soustruhů. [30]

3.1.2 Popis vrstvy CrN_x

Povrchová vrstva CrN_x (viz Obr. 10) byla vyvinuta společností SHM ve spolupráci s firmou Buzuluk Komárov. Příprava povrchové vrstvy spočívá ve skloubení dvou technologií. První technologií je obloukové napařování, kde hlavní pracovní prvek představuje nízkonapěťový oblouk. Podstata této technologie spočívá v tom, že dochází ke kontaktu oblouku a povrchu katody, a v oblasti kontaktu, dochází k odpařování materiálu. Oblast, kde dochází k odpařování materiálu vlivem vysoké teploty se nazývá katodová skvrna. [31] [32]

Druhá technologie nesoucí název magnetronové napařování, která se využívá pro přípravu povrchové vrstvy spočívá v tom, že v elektromagnetickém poli se volně pohybují elektrony, které se srážejí spolu s neutrálními atomy. Pokud volně se pohybující elektrony mají dostatečnou energii, tak začne docházet k ionizaci atomů. Poté dochází k urychlování kladných iontů, které se pohybují k záporně orientované katodě. Jestliže dojde k dopadu iontů, tak začne docházet k odprašování atomů terče. Dochází ke vzniku iontu, které jsou kladně orientovány, které směřují k substrátům, na kterých se nachází povlak, a na ně se vzápětí přivede záporně orientované předpětí. Když ionty dopadnou na povrch povlakovaného substrátu, dojde ke vzniku povlaku. [32]

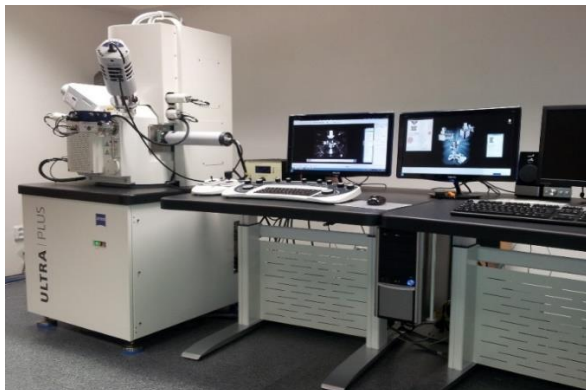


Obrázek 10: Znárodnění zkoumané vrstvy pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu při zvětšení 500x a 5000 x

Vývoj povrchové vrstvy CrN_x byl zprostředkován na zařízení Pi411, jedná se přímo o povlakovací zařízení, které je používané v průmyslu a na zařízení Orm, které si společnost sama zkonstruovala. Vrstva povlaku je složena z několika vrstev, kdy každá z nich má rozdílné vlastnosti. Jádru vrstvy má přibližně tloušťku 15 μm a jedná se o monovrstvu nebo multivrstvu, kde se vyskytuje dusík v rozmezí 30% až 70%. Tato část představuje vysokou tvrdost, a to až 24 GPa. Pokud se zaměříme na finální monovrstvu, tak tam už taková tvrdost není, pohybuje se o kolo 12 GPa. Finální monovrstva má tloušťku 5 μm a má hrubozrný povrch, zatímco celková tloušťka povrchové vrstvy je 20 μm. Povrchová vrstva CrN_x může sloužit jako náhrada tvrdochromu, její uplatnění je především u tvářecích strojů, ale také může tvořit korozivzdornou ochranu na povrchu dílu. [31]

3.2 Analýza chemického složení

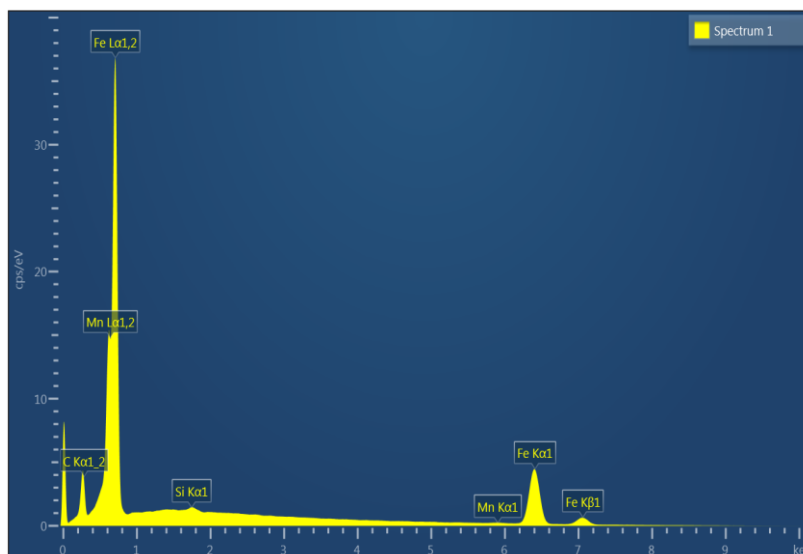
Analýza chemického složení povrchu materiálu a CrN_x vrstvy byla provedena pomocí plošné EDX analýzy na rastrovacím elektronovém mikroskopu Carl Zeiss ULTRA Plus, který je vybaven mikroanalytickým systémem OXFORD Instruments (Obr. 11).



Obrázek 11: Rastrovací elektronový mikroskop Carl Zeiss ULTRA Plus

Rastrovací elektronový mikroskop je propojený s počítačem, na kterém je nainstalovaný software, díky kterému můžeme sledovat povrch zkoumaných vzorků. Po vložení vzorků do komory, je možné sledovat povrch a přibližovat si místa na povrchu, která nás zajímají. Poté na zvoleném místě se uskutečňuje analýza chemického složení.

3.2.1 Chemické složení oceli ČSN 12 050



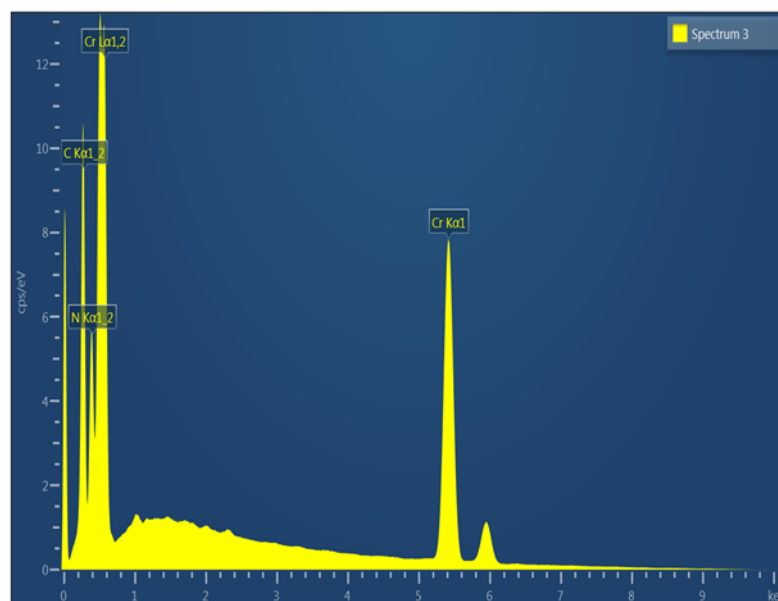
Obrázek 12: Chemické složení oceli ČSN 12 050

Tabulka 1: Chemické složení povrchu oceli ČSN 12 050

Prvky	At. %
Si	0,33
Mn	0,54
Fe	99,14
Celkem	100,0

Tabulka 1 a obrázek 12 ukazují výsledky dosažené analýzou chemického složení oceli ČSN 12 050. Ocel ČSN 12 050 se skládá z Fe a C a může být doplněna o další prvky, které se do oceli dostanou během výroby. Z naměřených hodnot je patrné, že ocel obsahuje základní prvky Fe a C. V tomto případě prvek C nebyl hodnocen, protože ocel byla při tribologickém měření ponořena v hydraulickém oleji, a ten se váže na povrch oceli. Proto naměřená hodnota uhlíku by přesahovala požadovanou hranici. Uhlík v oceli ČSN 12 050 se pohybuje v rozmezí od 0,42% do 0,50%. Dále ocel ČSN 12 050 obsahuje prvky Mn a Si, které se do oceli dostali během výroby.

3.2.2 Chemické složení nanesené vrstvy s označením CrN_x



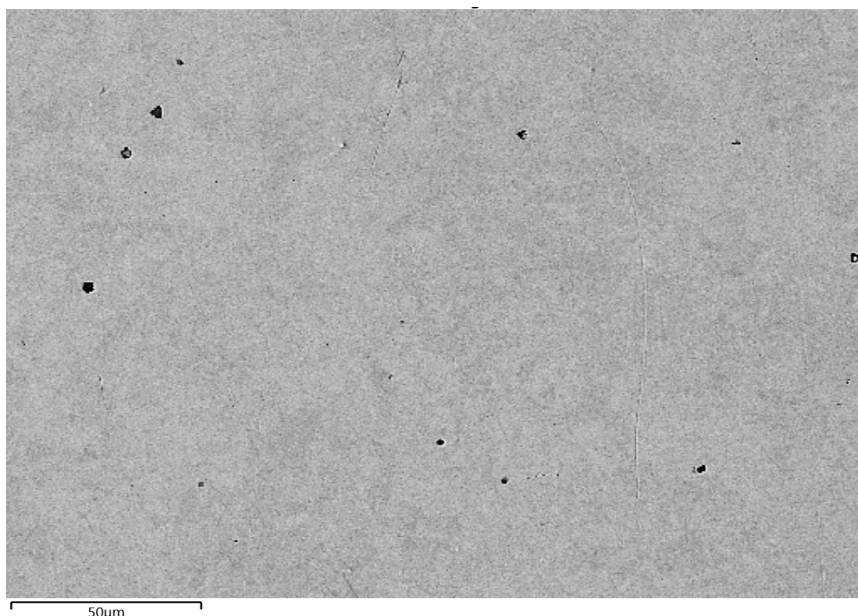
Obrázek 13: Chemické složení nanesené vrstvy s označením CrN_x

Tabulka 2: Chemické složení povrchu vrstvy s označením CrN_x

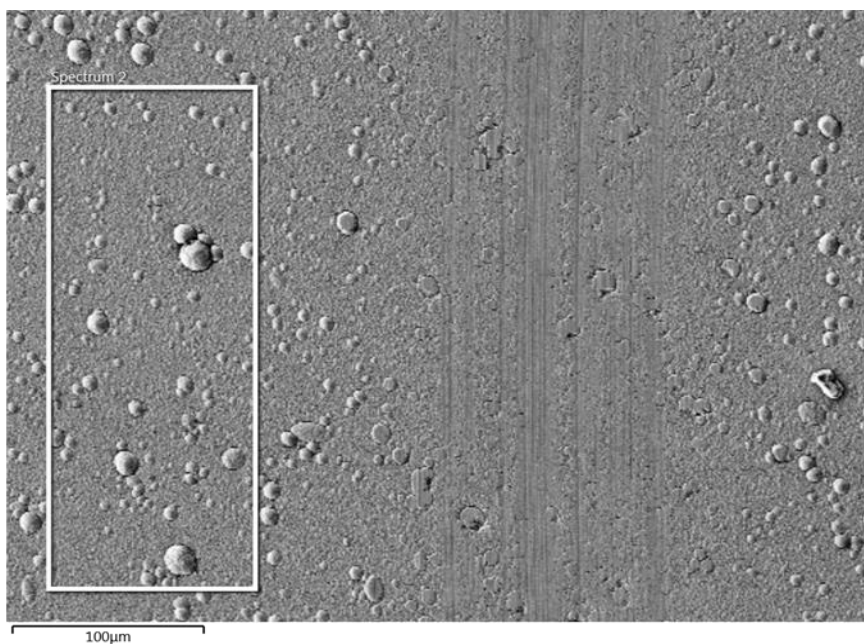
Prvky	At. %
N	19,9
Cr	80,1
Celkem	100,0

Tabulka 2 a obrázek 13 ukazují výsledky dosažené analýzou chemického složení povrchové vrstvy CrN_x. Naměřený prvek uhlík, který je k vidění v grafu není součástí povrchové vrstvy CrN_x. Povrchová vrstva je porézní a členitá, a jelikož byla ocel ponořena při tribologickém měření v hydraulickém oleji, tak dochází k usazení hydraulického oleje v povrchové vrstvě. Povrchová vrstva CrN_x se skládá z prvku N a Cr což je patrné ze samotného názvu povrchové vrstvy, která by se měla svými vlastnostmi podobat tvrdochromu. V podstatě se jedná o nanesení chromu na povrch oceli, u které chceme vlivem tvrdosti chromu a jeho dobré oteruvzdornosti snížit opotřebení povrchu.

3.2.3 Porovnání morfologie povrchů u oceli ČSN 12 050 před a po nanese- ní tenké vrstvy CrN_x



Obrázek 14: Povrch oceli ČSN 12 050 znázorněný rastrovacím elektronovým mikroskopem



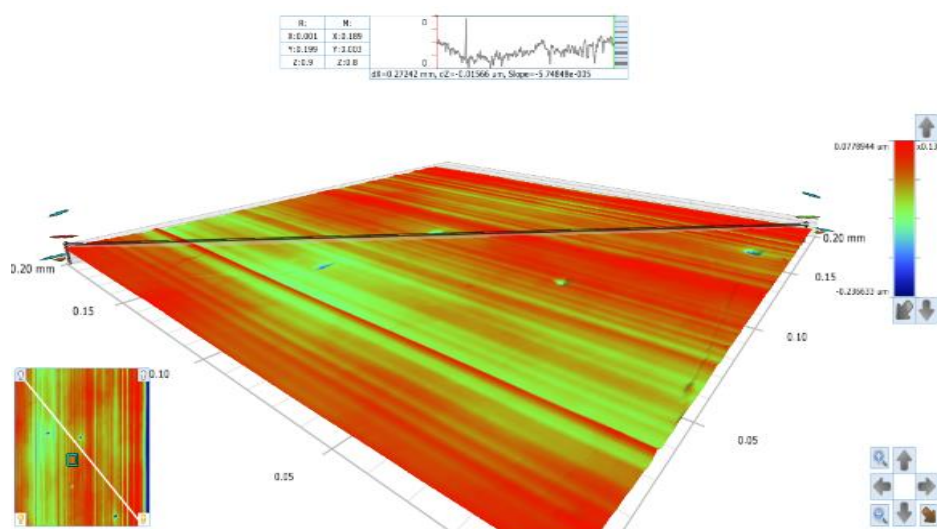
Obrázek 15: Povrch vrstvy s označením CrN_x znázorněný rastrovacím elektronovým mikroskopem

Obrázky 14 a 15 ukazují, jak se povrch oceli výrazně liší od povrchu s nanesenou vrstvou. Povrch oceli je oproti oceli s povrchovou vrstvou výrazně hladší. Povrchová vrstva CrN_x má chránit povrch oceli proti opotřebení. Jak je možné si všimnout, tak vrstva CrN_x vytváří na povrchu oceli bublinkovou strukturu, která má daleko větší tvrdost než samotná ocel ČSN 12 050. Morfologie povrchu oceli se výrazně liší od morfologie povrchu vrstvy. Mají jak odlišnou povrchovou strukturu, tak i odlišné chemické složení.

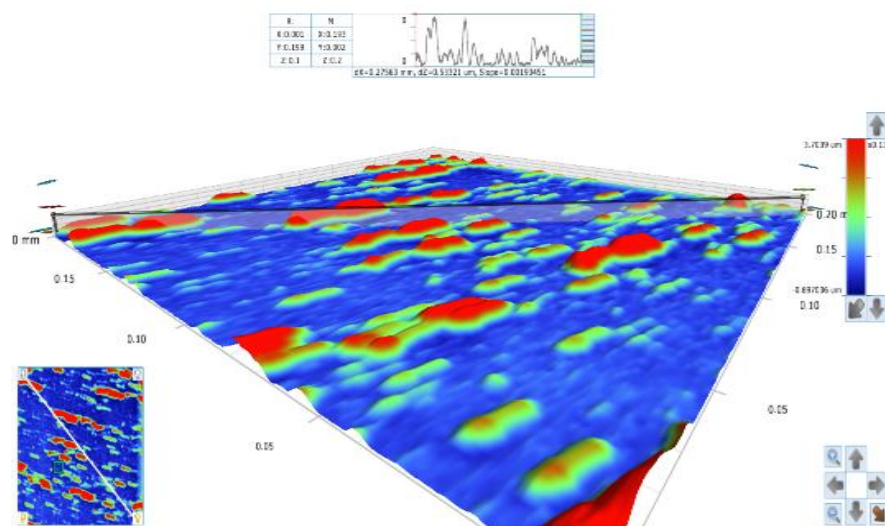
3.3 Drsnost povrchu ocelí třídy ČSN 12 050

Hodnocení drsnosti povrchu bylo provedeno jak na nemodifikovaném povrchu oceli ČSN 12 050 (Obr. 16), tak i po nanesení vrstvy s označením CrN_x (Obr. 17). Morfologie obou povrchů se výrazně liší. Povrch oceli ČSN 12 050 po vyleštění byl výrazně hladší ve srovnání s povrchem po nanesení vrstvy CrN_x.

Na povrchu oceli ČSN 12 050 byla nanесena povrchová vrstva s označením CrN_x, která vytváří na povrchu tvrdý povlak, a tak chrání materiál proti porušení. Při porovnání drsnosti povrchů, je vyleštěná ocel výrazně hladší než povrch oceli s vrstvou. Rozdíl v drsnosti sledovaných povrchů je znázorněn na obrázcích 16 a 17.



Obrázek 16: Drsnost povrchu u oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem a povrchovou vrstvou CrN_x



Obrázek 17: Drsnost povrchu u oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN_x

3.3.1 Způsob hodnocení drsnosti povrchu

Drsnost povrchu se hodnotí na speciálním přístroji, který se nazývá DektakXTTM. Jedná se o profilometr, který dokáže pomocí hrotu zjišťovat drsnost povrchu pevných látek. Proto je možné pozorovat tvar povrchu v horizontálním rozmezí od několika mikrometrů až k desítkám milimetrů s rozlišením do vertikálního směru. Tento stroj je velice nákladný z hlediska financí.

Diamantový hrot se pohybuje po zkoumaném povrchu a působením zatěžovací síly popisuje jeho morfologii. Samotný přístroj je propojen spolu s počítačem, přes který se udávají danému přístroji pokyny. Ke komunikaci mezi počítačem a přístrojem se používá software, který se dodává spolu se zařízením.

Při zapnutí zařízení pro měření drsností povrchu, se musí také zapnout počítač. Oba dva spolu vytvářejí komunikační síť. Při zapnutí počítače, si pustíme software, díky kterému jsme schopni zadávat pokyny danému zařízení. Ihned po zapnutí, se začne zařízení kalibrovat, a to proto, aby měření bylo co nejpřesnější. Kalibrací se rozumí hledání nulové polohy, ze které se bude při procesu měření vycházet.

Před samotným měřením, je vhodné očistit diamantový hrot zařízení, který měří drsnost povrchu, abychom odstranily nečistoty z hrotu a zabránili tak dosažení nepřesných hodnot. Diamantové hroty jsou vyráběny o velikosti několika mikrometrů, při měření byl použit hrot s poloměrem zaokrouhlení špičky 2 μm . Následně použijeme vzorek z oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem a položíme ji na podložku daného zařízení.

Po dokončení celého procesu měření se to samé za stejných podmínek provede pro ocel ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN_x. Samotný proces měření začíná tak, že na počítači zadáme velikost přitlačné síly, kterou má hrot působit na materiál, a také velikost plochy, která má být zkoumána. Velikost přitlačné síly se musí volit rozumně a dle druhu materiálu, většinou se síla volí v rozmezí od 0,03 do 15 mg. Například u pryskyřice by při zvolení větší přitlačné síly mohlo dojít k poškrábání povrchu materiálu.

Na počítači zadáme, aby hrot zařízení začal pomalu sjíždět dolů. Pomalým sjížděním se rozumí hledání materiálu, který budeme měřit. Hrot se zastaví, jakmile se dotkne povrchu měřeného materiálu, a z toho je patrné že toto zařízení pracuje tak, že hrot musí být v kontaktu se zkoumaným vzorkem oceli. Ovšem hrot je po celou dobu průběhu měření stále ve stejné pozici, nevykonává žádný pohyb. Naopak pohyb vykonává zkoumaný vzorek. Úkolem hrotu je zjistit nerovnosti, které se nacházejí na obou zkoumaných vzorcích. Měření může trvat v rozsahu 30 minut až do několika hodin. Čas procesu se dá ovlivnit nastavením rychlosti měření a volbou přesnosti měření.

Zároveň je důležité zmínit, že procesy, které trvají delší dobu jsou přesnější než procesy, které probíhají krátce. Jakmile spustíme měření, tak se na počítači začne tvořit graf, který znázorňuje drsnost povrchu. Každý ze zkoumaných vzorků byl měřen 3krát, aby se zaručilo dosažení přesných výsledků. Výsledkem měření jsou hodnoty drsností a obrázky znázorňující povrch daného vzorku. Největší význam mají výškové parametry plošné drsnosti povrchu Sz a Sa.

3.3.2 Výsledky měření drsnosti povrchu u ocelí ČSN 12 050

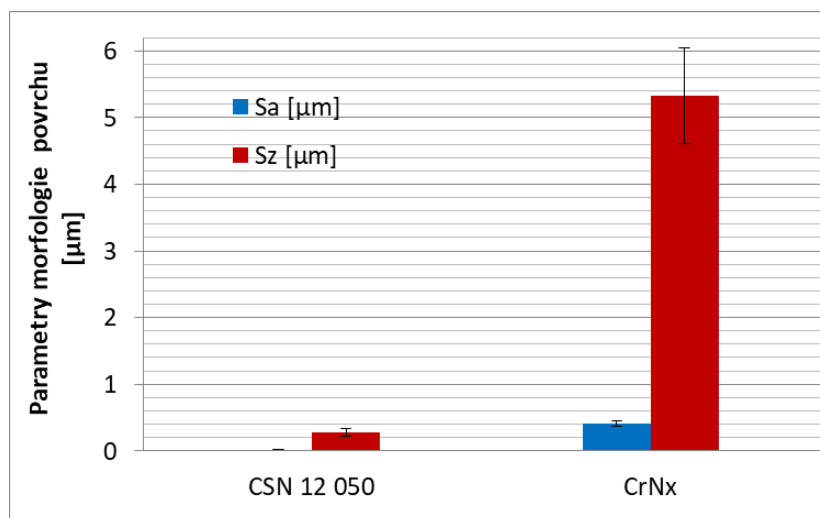
Tabulka 3: Parametry drsnosti povrchu podle analýzy mechanického profilometru u oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem

Parametry	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Průměr
$Sa [\mu m]$	0,016	0,025	0,014	0,018±0,005
$Sku [\mu m]$	29,219	2,523	12,640	14,794±11,005
$Sp [\mu m]$	0,078	0,119	0,048	0,082±0,029
$Sq [\mu m]$	0,025	0,031	0,019	0,025±0,005
$Ssk [\mu m]$	-3,738	0,401	-1,794	-1,978±1,369
$Sv [\mu m]$	-0,237	-0,195	-0,174	-0,202±0,026
$Sz [\mu m]$	0,315	0,314	0,221	0,283±0,044

Tabulka 4: Parametry drsnosti povrchu podle analýzy mechanického profilometru u oceli ČSN 12 050 s naneseným povlakem CrN_x

Parametry	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Průměr
$Sa [\mu m]$	0,407	0,339	0,487	0,411±0,060
$Sku [\mu m]$	8,928	29,528	11,288	16,581±9,205
$Sp [\mu m]$	3,704	5,575	4,516	4,598±0,766
$Sq [\mu m]$	0,578	0,569	0,722	0,623±0,070
$Ssk [\mu m]$	2,323	4,319	2,678	3,107±0,869
$Sv [\mu m]$	-0,697	-0,589	-0,904	-0,730±0,131
$Sz [\mu m]$	4,401	6,165	5,420	5,329±0,723

Z dosažených výsledků měření drsnosti povrchů, nás nejvíce zajímá hodnota Sa , která určuje průměrnou drsnost povrchu a hodnota Sz , která určuje výšku od nejnižší prohlubně až k nejvyššímu výstupku. Z naměřených hodnot je patrné, že u obou parametrů má ocel s povrchovou vrstvou CrN_x daleko vyšší naměřené hodnoty. U oceli s leštěným povrchem se už od začátku měření předpokládalo, že drsnost bude nižší než u oceli s povrchovou vrstvou CrN_x .



Graf 1: Porovnání parametrů plošné drsnosti povrchu Sa a Sz po měření drsnosti povrchu u obou ocelí

Graf 1 znázorňuje naměřené parametry drsnosti S_a a S_z , které jsou při hodnocení drsnosti povrchu nejčastěji sledovány. Z dostupného grafu plyne, že průměrná drsnost povrchu a největší výška mezi prohlubní a výstupkem je razantně vyšší u oceli s povrchovou vrstvou CrN_x .

3.4 Měření tvrdosti oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN_x

3.4.1 Zařízení pro měření tvrdosti

K měření tvrdosti povrchu byla použita ocel ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou, protože bylo zapotřebí zjistit, jakou tvrdost tato povrchová vrstva vykazuje. Povrchová vrstva CrN_x dokáže snížit opotřebení povrchu materiálu, což znamená, že povrchová vrstva musí mít určitou tvrdost, aby byla schopná odolávat vnějším vlivům, které na ni působí.

Měření tvrdosti bylo provedeno na zařízení Struers, které bylo umístěno na pevném stole, tak aby proces měření probíhal za klidných podmínek.



Obrázek 18: Zařízení Struers pro měření tvrdosti

Zařízení je spojeno s monitorem, přes který se ovládá celý proces měření. Při zapnutí zařízení, a monitoru se začne stoleček zařízení kalibrovat. Kalibrováním se rozumí vyhledávání nulové polohy stolku. Toto zařízení umožňuje zkoumat tvrdost dle Knoop, Brinella a také Vickerse.

Pro procesy měření je možné volit zatěžovací sílu, dle toho, co vám zařízení umožňuje. Tento model měřicího zařízení umožňuje nastavit zatížení od nejnižší hodnoty 1 gf až do maximální hodnoty 62,5 kgf. Při práci s tímto měřicím zařízením, jsem se setkal s tím, že je možné volit manuálně polohu stolku v ose Y a to tlačítky, které jsou umístěny přímo na zařízení. Struers ale má manuální XY stupně, ale také je nabízí i v motorizované podobě. Zaostření se může provádět buďto pomocí kolečka, anebo zvolit na monitoru manuální zaostření.

3.4.2 Měření tvrdosti dle Knoop na zařízení Struers

V první fázi měření se zapnulo měřicí zařízení spolu s monitorem, a začalo kalibrování stolku pro určení nulové polohy. V další fázi, se na stoleček položila ocel ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN_x . U měření tvrdosti dle Knoop se používá čtyřboký diamantový jehlan, který působí silou na zkoumaný materiál. Při položení oceli na pult, se na vedlejším monitoru vybrala zkouška tvrdosti dle Knoop a nastavila se zatěžující síla 50 gf. Jakmile se vybral typ zkoušky tvrdosti a zatěžující síla, nastal proces měření. Před každým měřením, došlo k zaostření povrchu.

Proces měření spočívá v tom, že čtyřboký diamantový jehlan působí na povrch oceli zatěžující silou 50 gf. Po procesu měření se na monitoru ukázala hodnota tvrdosti, která přísluší zkoumanému místu. Kromě výsledné hodnoty, se nám na monitoru také zobrazí obrázek povrchu oceli v daném místě po procesu měření. Po ukončení procesu měření se v povrchu oceli vytvoří vtisk od čtyřbokého diamantového jehlanu. Následná tvrdost se vyhodnotí podle nejdelší úhlopříčky. Změřená tvrdost v daném místě dle Knoop se značí HKO.05.

3.4.3 Výsledky hodnocení tvrdosti u oceli ČSN 12 050 s vyleštěným povrchem a povrchovou vrstvou CrN_x

Měření bylo na každém povrchu provedeno 10krát na různých místech, a to z důvodu opakovatelnosti výsledků. Tabulka 5 a 6 ukazuje výsledné hodnoty po měření tvrdosti v jednotlivých místech oceli s rozdílnými povrchy.

Tabulka 5: Tvrdost povrchové vrstvy CrN_x dle Knoop

Měření	Tvrdost [HKO.05]
1.	3437
2.	3112
3.	3081
4.	3950
5.	3239
6.	3969
7.	3274
8.	3228
9.	3026
10.	3437
Průměr	3375,3
Směr. odchylka	± 336,5

Tabulka 6: Tvrdost vyleštěného povrchu dle Knoop

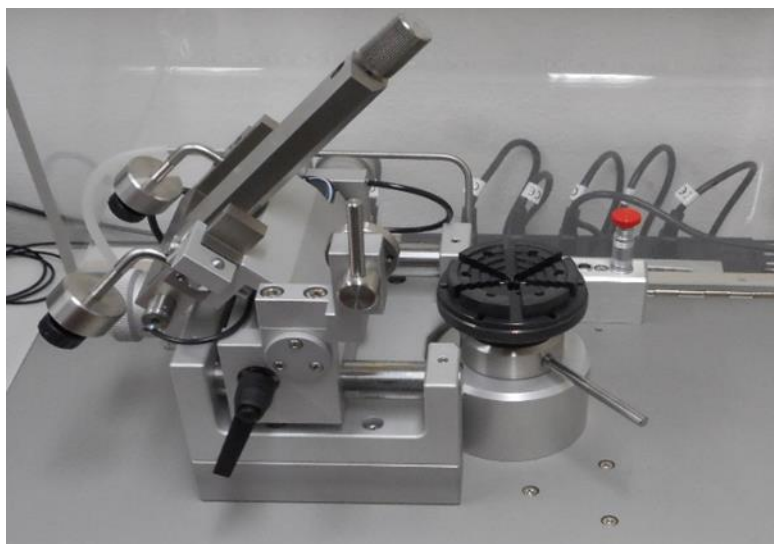
Měření	Tvrdost [HKO.05]
1.	352
2.	319
3.	304
4.	317
5.	313
6.	353
7.	327
8.	324
9.	307
10.	311
Průměr	322,7
Směr. odchylka	±17,2

Tvrdost oceli, na které je nanesená povrchová vrstva CrN_x by měla být podstatně větší než u vyleštěného povrchu, protože povrchová vrstva slouží ke snížení opotřebení, a proto musí mít větší tvrdost, než základní materiál, aby odolala okolním vlivům. Z naměřených hodnot v tabulce 5 plyne, že povrchová

vá vrstva CrN_x vyniká daleko vyšší tvrdostí oproti oceli ČSN 12 050 s vyleštěným povrchem. Hodnoty naměřené u oceli ČSN 12 050 s vyleštěným povrchem v tabulce 6 jsou výrazně nižší.

5 Tribologické měření

Tribologickému měření byla vystavena ocel ČSN 12 050 s leštěným povrchem a s povrchovou vrstvou CrN_x . Tribologický proces u oceli probíhal za stejných podmínek, při pokojové teplotě. K měření tribologie se používal tribometr TRB (Obr. 19). Jako protikus byla použita kulička Al_2O_3 o průměru 6 mm, s tvrdostí 1500 (HV10) a měrnou hmotností $3,860 \text{ g/cm}^3$ (Obr. 20).



Obrázek 19: Tribometr TRB



Obrázek 20: Keramické kuličky Al_2O_3

5.1 Popis tribometru TRB používaného k měření tribologie

Tribometr TRB je zařízení sloužící k hodnocení kluzných vlastností materiálu. K jeho výkonu je zapotřebí mít i počítač s příslušným softwarem, kterým se spouští celkový proces měření, ale také se jeho prostřednictvím zadávají vstupní hodnoty, které jsou pro celý proces měření důležité. Tribometr TRB se skládá z upínacího zařízení neboli otočného stolku, který je opatřen několika profily, do kterých je možné vložit zkoumaný vzorek (Obr. 19).

Vzorek se položí do otočného stolku, a aby došlo k zachycení vzorku, musí se s otočným pultem otočit tak, aby došlo k sevření zkoumaného vzorku. Po uchycení vzorku se dotáhnou potřebné šrouby, aby vzorek pevně držel. Nemůže se stát, aby v průběhu procesu došlo k uvolnění vzorku. Vzorek se na otočném stolku po celou dobu procesu otáčí. Součástí tribologického procesu je i protikus, protože při

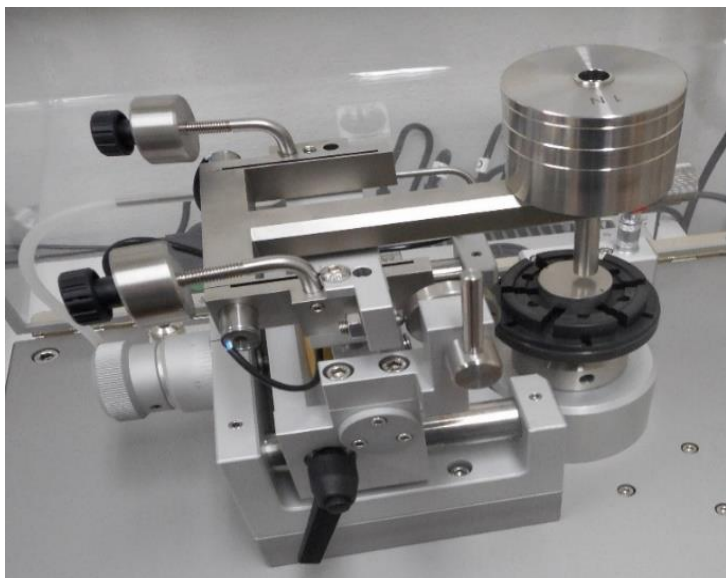
tribologii dochází ke kontaktu dvou těles. Protikus materiálu se na tribometru TRB zachycuje do speciálního držáku ve tvaru hřídele, která se vkládá do ramene.

U ramene je důležité, aby po celou dobu měření bylo v horizontální poloze. Na konci ramena jsou umístěna závaží (viz Obr. 21), která zajišťují předem určené zatížení mezi materiály. Pomocí páčky umístěné na boku zařízení tuto polohu ramene zafixujeme.

Před samotným zahájením tribologického procesu je důležité zmínit, že tribometr TRB je spojený s počítačem, na kterém zadáváme vstupní podmínky pro měření. Vstupní podmínky jsou základem, které se musí nastavit před samotným zahájením procesu. Výstupem celého procesu je graf, který nám znázorňuje velikost koeficientu tření. Jedná se o tření, které vzniká mezi kuličkou a zkoumaným povrchem.

5.2 Tribologie ocelí ČSN 12 050 s rozdílnými povrchy při tření na sucho

Tribologickému měření byly vystaveny oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem (Obr. 21) a s nanesenou povrchovou vrstvou CrN_x . Proces měření probíhal za stejných vstupních podmínek, při stejné pokojové teplotě.



Obrázek 21: Tribometr před zahájením procesu měření

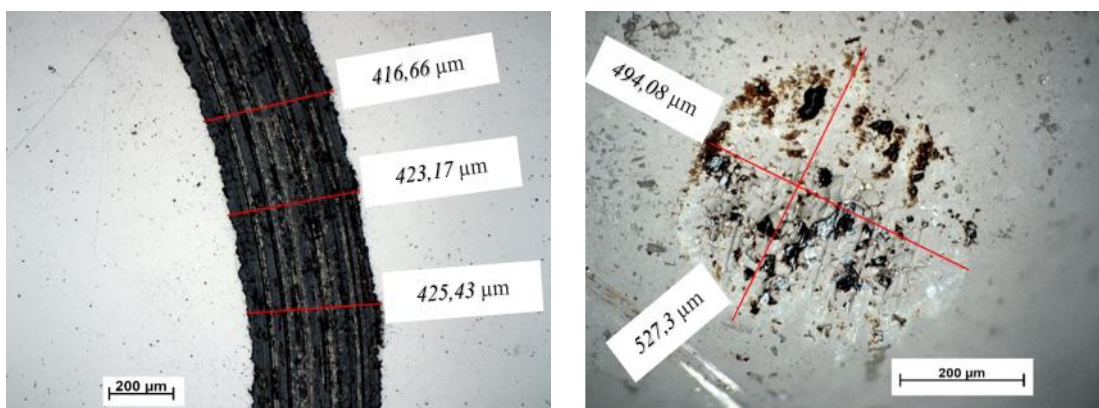
Jak již bylo zmíněno, tribologie je proces, kdy dochází ke kontaktu mezi dvěma materiály. Opotřebení materiálu, se vytváří na povrchu zkoumaných ocelí, ale také i na povrchu kuličky, která tvoří protikus. Opotřebení se vytváří na ocelích formou rýhy, která dle zadaných parametru musí být ve tvaru rádiusu 4 mm neboli kružnice o průměru 8 mm. Cílem měření bylo zjistit, jaký rozdíl bude v opotřebení povrchu obou ocelí. Jestli povrchová vrstva na oceli dokáže snížit velikost opotřebení. Opotřebení, které vzniká na povrchu ocelí je velice špatně viditelné pomocí lidského oka. Šířka rýhy, která se vytvořila na povrchu ocelí, dosahuje šířky v rámci několika mikrometrů. A pro bližší zkoumání, je zapotřebí použít mikroskop, se kterým je možné prozkoumat rýhy důkladněji a určit jejich rozměr.

5.2.1 Hodnocení opotřebení při tření nasucho u oceli ČSN 12 050

Vstupní podmínky se nastavovaly v softwaru na počítači. Do sekce vzorku se zadal typ materiálu, který se zkoumá. V našem případě se jedná o ocel ČSN 12 050. Dále se do stejné sekce muselo zadat, zda zkoumaná ocel má či nemá povrchovou úpravu. Do sekce materiálového protikusu byl zadán název protikusu, v našem případě se jedná o kuličky Al_2O_3 .

Po zadání názvu, se musí zvolit geometrie protikusu materiálu. Jelikož se jedná o protikus ve formě kuličky, byla zvolená geometrie typu kulička. Nesmělo se také zapomenout na zadání velikosti průměru kuličky. Při měření byla použita kulička o průměru 6 mm. V sekci sekvence se zvolila míra akvizice 50 Hz. Dále se nastavilo vzorkování pro jeden cyklus. Měření probíhalo pouze jednou, a to při zatížení 10 N. Rádus byl zvolen 4 mm. Jedná se o rádus, po kterém se kulička pohybuje po povrchu zkoumaného materiálu v průběhu tribologického procesu. Dále se zadala délka ujeté dráhy 50 m, která má vliv na procesu měření. Až dojde k dosažení této vzdálenosti, tak se proces měření vypne. Experiment trval 33 minut. Do požadavků byl ještě nastaven práh pro koeficient tření 0,8. Pokud by v průběhu měření, došlo k překročení této hodnoty, tak se celý proces měření sám zastaví.

Při zapnutí procesu, ať s ocelí s vyleštěným povrchem nebo s povrchovou vrstvou, dochází k poškození povrchu materiálu. Povrch materiálu se poškozuje vlivem kontaktu oceli s materiálem protikusu. Je důležité, aby materiál protikusu měl vysokou tvrdost, a poškodil se méně než zkoumaný vzorek. Před zahájení procesu měření je vždy připravený a použitý nový, nepoškozený protikus. Po dokončení procesu měření bylo značně zřetelné, že došlo k opotřebení povrchu oceli ale také i povrchu kuličky (Obr. 22).

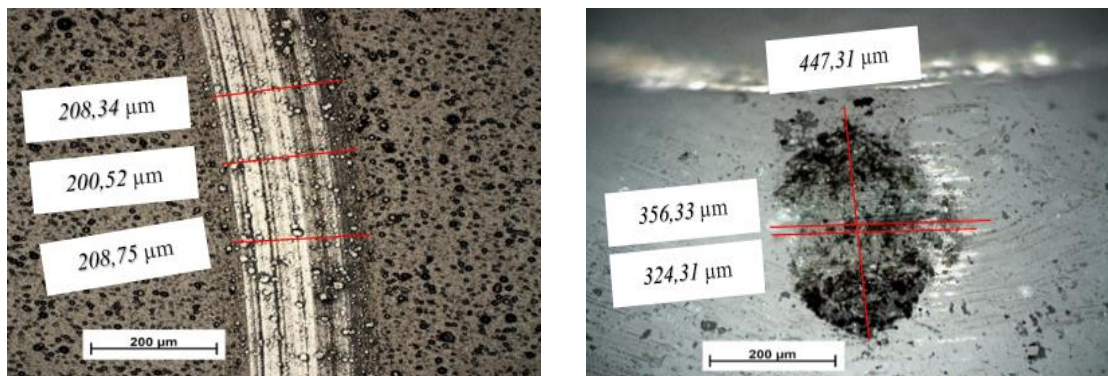


Obrázek 22: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 a kuličky Al_2O_3 po tribologii na sucho

5.2.2 Hodnocení opotřebení při tření nasucho u oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN_x

Pro další proces měření, kde se použila ocel ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou, se musela kulička otočit, aby její povrch byl schopen opětovnému použití. U tribologického procesu s leštěným povrchem byl po celou dobu měření neustálý hluk, který byl zapříčiněn tím, že dva tvrdé materiály o sebe třou. Ale daleko větší hluk nastal při měření oceli s povrchovou vrstvou, a je to dáno tím, že povrchová vrstva má povrch vzorku oceli chránit, a právě proto se vyznačuje svojí vysokou tvrdostí.

Hluk byl také zapříčiněn tím, že oba dva procesy měření se prováděly na suchu, bez mazání. Ocel s povrchovou vrstvou CrN_x má větší tvrdost a odolnost proti opotřebení než ocel s leštěným povrchem. Výsledkem celého měření je znázorněn na obrázku 24, na kterém můžeme pozorovat velikost tření v jednotlivých úsecích měření.



Obrázek 23: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 s vrstvou CrN_x a kuličky Al_2O_3 po tribologii na sucho

Při zkoumání opotřebení, které vzniklo na povrchu oceli, jsme dosáhli dvojnásobného opotřebení oproti povrchu s povrchovou vrstvou CrN_x , protože povrch oceli nebyl chráněn žádnou povrchovou vrstvou, která by svojí tvrdostí dokázala snížit opotřebení (Obr. 22 a Obr. 23 vlevo).

Povrchová vrstva CrN_x dokázala dvojnásobně snížit velikost opotřebení oproti oceli s leštěným povrchem. Šířka opotřebení, která vznikla po tribologickém procesu je dvojnásobně menší než u oceli s leštěným povrchem. V místě opotřebení jsou obsaženy kapičky, které poukazují na to, že daná povrchová vrstva nebyla prodřena. Z výsledků je patrné, že opotřebení je opravdu poloviční. Je tedy možné konstatovat, že povrchová vrstva je vhodná k ochraně povrchů a vede ke snížení opotřebení.

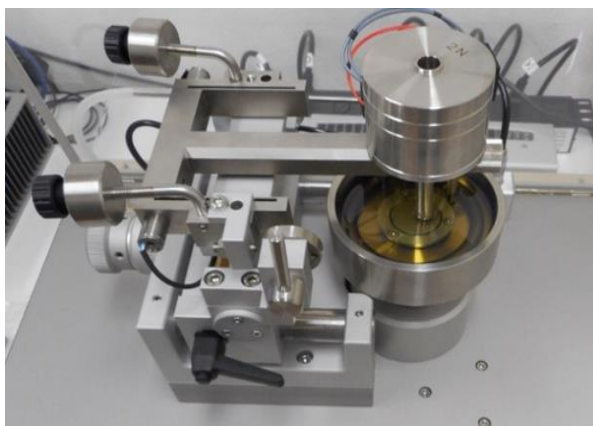
Při tribologickém procesu dochází také k opotřebení kuličky, a v kontaktním bodě dochází k úbytku materiálu. Na kuličce se vytváří elipsoidní tvar opotřebení (Obr. 22 a Obr. 23 vpravo). Na kuličce je také vidět opotřebení, ale je menší než na kuličce, která byla v kontaktu s leštěným povrchem oceli. Povrchová vrstva zabraňuje, aby se kulička mohla dostat do větší hloubky materiálu a tím se ještě více poškodila. Zvětšením délky zkoumané dráhy by se kulička postupně dostávala do hloubky materiálu.

5.3 Tribologie ocelí ČSN 12 050 s rozdílnými povrchy s hydraulickým olejem

K tribologickému měření byl použit tribometr TRB 157 MK Tribometr pro suché i kapalně prostředí, který se používal i při hodnocení kluzných vlastností při tření na suchu. U tribologického měření s hydraulickým olejem dochází k určitému rozdílu oproti měření na sucho. Na tribometru TRB se musí použít otočný stolek s vaničkou, do které je možné nalít hydraulický olej, protože bude docházet ke kontaktu mezi materiálem protikusu a povrchem ocelí, které jsou vnořeny do hydraulického oleje.

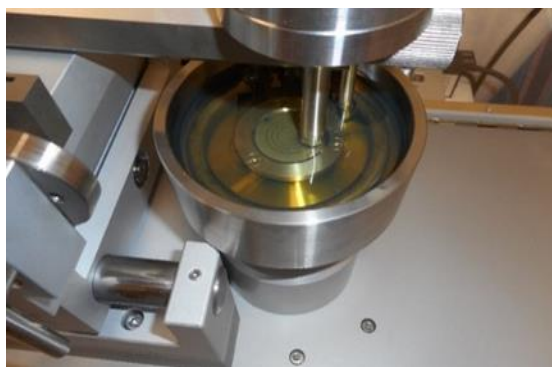
Do otočné vaničky se vkládá vzorek oceli, na který se nasadí zachycující prvek, který se přišroubuje k otočnému stolku, a to proto, aby v průběhu měření se zamezilo pohybu ocelí. Byla použita ocel ČSN 12 050 s leštěným povrchem a s povrchovou vrstvou CrN_x .

Nejedná se o vzorky, které byly použity při měření na sucho, je to úplně nový proces, a proto musí být použity vzorky nové s neporušeným povrchem. Když máme vzorek oceli uchycený, tak se následně přidá do otočné vaničky zahřívací mechanismus, který bude v průběhu měření zahřívat hydraulický olej na 45°C.



Obrázek 24: Tribologické měření s použitím hydraulického oleje

Když máme v otočném pultu zachycený zkoumaný vzorek, a přidané zahřívací zařízení, tak se přímo do otočné vaničky nalije hydraulický olej, a to tak, aby protikus materiálu, který opět tvoří kulička Al_2O_3 byl spolu s ocelí ponořen v hydraulickém oleji. U protikusu materiálu ve formě kuličky, platí stejně jako u tribologického procesu měření na sucho to, že se kulička po každém měření musí otočit, aby její povrch byl při každém novém měření neporušen. Před samotným procesem je opět důležité nastavit vstupní podmínky, které jsou stejné jako při procesu měření tribologie na suchu. Pouze s tím rozdílem, že byl přidán hydraulický olej s komerčním označením OHM-32, a docházelo ke dvěma měřením každého vzorku.



Obrázek 25: Tribologický proces měření a vznik opotřebení na povrchu oceli

U prvního měření oceli ať s leštěným povrchem, nebo s povrchovou vrstvou byl zadán rádius 5 mm (vzdálenost od středu zkoumaného vzorku). Jedná se o rádius, který bude po procesu měření vytvořený na povrchu oceli. Každá ocel byla měřena 2krát, a proto se musel rádius v každém měření zvyšovat, aby protikus materiálu nezasahoval do první vytvořené drážky. U druhého měření se volil rádius 7 mm.

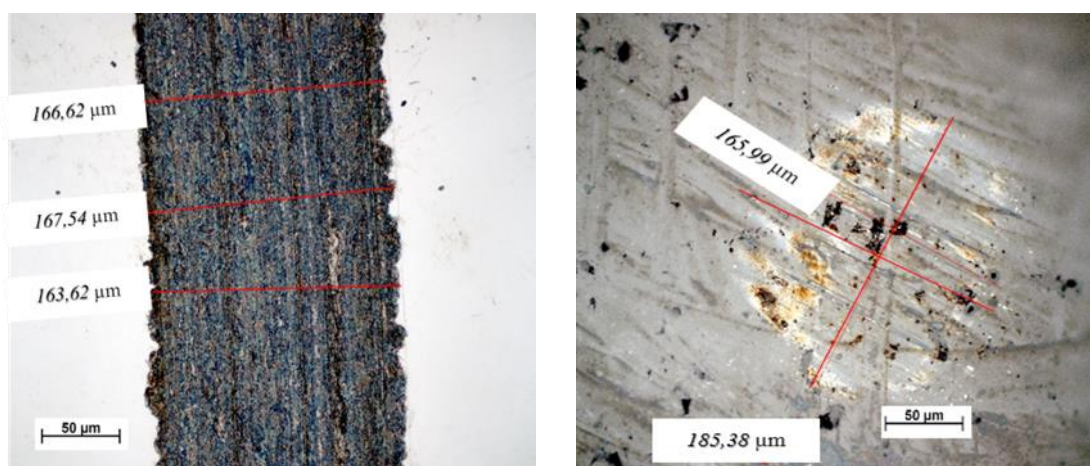
Zahřívací mechanismus, je vložen do otočné vaničky tak, aby se neopíral na dně, protože během procesu se vanička otáčí. Jedná se o jednu otáčku za vteřinu. Během procesu měření jsme mohli zpozorovat rozdílný čas měření pro jednotlivé rádiusy. Je to tím, že při prvním měření byl nastaven rádius 5 mm, a proces měření trvá až do té doby, než bude dosaženo vzdálenosti 50 m.

Jelikož se jedná o nejmenší rádius, který je nejbližší ke středu zkoumaných vzorků oceli, tak bude čas více zdlouhavý než v druhém případě. A je to dáno tím, že kružnice o poloměru 5 mm, má menší obvod než kružnice o poloměru 7 mm, a proto je zapotřebí daleko více času, než dojde k uražení vzdálenosti 50 m. U měření s rádiusem 7 mm, se čas měření zkrátí.

5.3.1 Charakteristika hydraulického oleje s komerčním označením OHHM-32

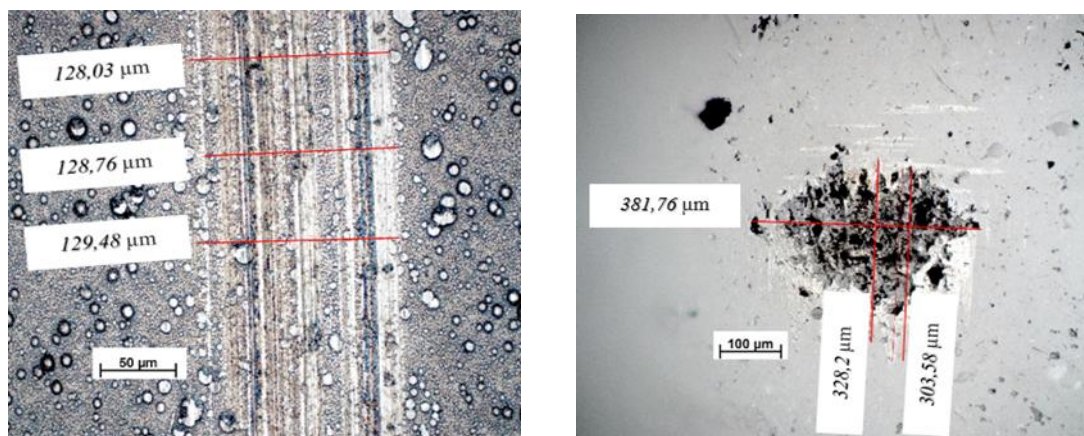
Při tribologickém měření byl použit hydraulický olej OHHM-32, který tvoří procesní kapalinu využívanou v hydraulických zařízeních, ale také v mechanismech, která vykonávají svoji práci nepřetržitě. Hydraulický olej OHHM-32 se vyrábí z ropného oleje. Pomocí přísad, jsme schopni dosáhnout u hydraulického oleje OHHM-32 dobrých korozivzdorných vlastností, ale také i dobrých antioxidačních vlastností. Při tribologickém měření byl olej zahříván na teplotu 45°C. Celkem se měřilo 4x, a pro každý proces měření nesměl být použitý zahřátý olej z předchozího měření. Vždy se musel olej po tribologickém měření odsát, dát vychladit, a pro další proces měření se nalil olej nový. Jakmile se odsátý olej zchladil, bylo ho možné znovu použít pro měření. Dělalo se to proto, aby při měření docházelo k postupnému ohřívání hydraulického oleje zase na teplotu 45°C. A takto se proces opakoval po celou dobu měření.

5.3.2 Opotřebení třecí dvojice při použití hydraulického oleje OHHM-32



Obrázek 26: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 a kuličky Al_2O_3 po tribologii za použití hydraulického oleje OHHM-32

Opotřebení vytvořené po tribologickém měření s hydraulickým olejem, je na povrchu oceli s leštěným povrchem menší, než po tribologii na sucho (Obr. 26). Hydraulický olej, ve kterém byla ocel při měření ponořena, dokázal výrazně snížit opotřebení povrchu a zlepšit třecí vlastnosti. Hydraulický olej snížil také opotřebení na povrchu kuličky, která tvořila protikus. Oproti tribologii na sucho, bylo dosaženo daleko nižšího opotřebení na povrchu kuličky (Obr. 26). Hydraulický olej snížil tření a tím i opotřebení, které vznikalo při kontaktu oceli s kuličkou.



Obrázek 27: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 s vrstvou CrNx a kuličky Al₂O₃ po tribologii za použití hydraulického oleje OHHM-32

Hydraulický olej snížil opotřebení povrchu oceli oproti tribologii na sucho téměř o polovinu. Struktura povrchu je bublinková, nedošlo k prodržení povrchové vrstvy (Obr. 27). Jelikož struktura vykazuje pórovitost, dochází k vázání hydraulického oleje na povrchu. Povrch kuličky není tak opotřeбенý jako při tribologii na sucho (Obr. 23). Dosáhlo se podobného elipsoidního tvaru, ale s menším opotřeбенím. Hydraulický olej i u tribologického měření s povrchovou vrstvou dokázal snížit opotřeбенí, které vznikalo mezi ocelí a kuličkou.

5.4 Tribologie ocelí ČSN 12 050 s rozdílnými povrchy s hydraulickým olejem aditivovaného nanočásticemi SiO₂ a Al₂O₃

K tribologickému procesu byly opět použity dva typy povrchů - ocel ČSN 12 050 a ocel ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN_x. Proces měření probíhal za stejných vstupních podmínek jako u předchozích měření na sucho a s hydraulickým olejem. Rozdíl byl pouze v tom, že se do hydraulického oleje přidaly nanočástice SiO₂ a Al₂O₃, a bylo používáno předem stanoveného množství oleje. Pro každé měření se používalo 100 ml hydraulického oleje promíchaného s nanočásticemi, který se během měření zahříval na teplotu 45°C. Použit byl stejný typ hydraulického oleje, jako v předchozím měření. Jedná se o hydraulický olej OHHM-32.

Před zahájením procesu měření se do softwaru v počítači pouze připsalo, že hydraulický olej bude používán při každém měření v množství 100 ml, a také se uvedlo, množství nanočástic, které byly přidány do oleje. Proces měření byl proveden dvakrát pro každý vzorek.

5.4.1 Aditivace hydraulického oleje nanočásticemi

Před samotným zahájením měření, se muselo připravit určité množství nanočástic. V předchozím měření se u tribologického procesu používal samotný hydraulický olej. U tohoto měření dochází k přidání nanočástic přímo do hydraulického oleje. Rozdíl je v tom, že budeme zkoumat, jak nanočástice dokáží ovlivnit vlastnosti hydraulického oleje, a jestli jsou schopny snížit opotřeбенí povrchu ocelí. V první řadě se použilo určité množství hydraulického oleje, do kterého budeme přidávat aditiva ve formě nanočástic.

Hydraulického oleje bylo 0,5 l a byl obsažen v plastové láhvi. Množství hydraulického oleje máme připravené a teď přichází ta nejdůležitější část celé přípravy, a to aditivace hydraulického oleje pomocí nanočástic. Pod aditivací si můžeme představit přípravu určitého množství aditiv, které se aplikují

například do provozních kapalin za účelem zlepšení vlastností a také aby bylo dosaženo menšího opotřebení součástí. Před samotnou aditivací hydraulického oleje, je důležité si připravit určité množství obou druhů nanočástic SiO_2 a Al_2O_3 , které se v závěrečné fázi smíchají s hydraulickým olejem. Celý proces odměřování množství nanočástic pro aditivaci hydraulického oleje probíhal v uzavřené buňce, protože nanočástice dosahují velikosti nanometrů a mohou se tedy snadno dostat do lidského organismu.

Větší množství nanočástic, které by se dostalo do lidského organismu může ovlivnit celkové zdraví člověka. V ochranné buňce je možné pracovat pomocí gumových rukavic, které jsou součástí buňky. Množství nanočástic se připravovalo na speciální váze, která spolu s nanočásticemi byla připravená v ochranné buňce. Váha pro měření je velice citlivá, a na jejím ukazateli se projeví i velice malé množství nanočástic. Před začátkem procesu je nutné váhu vynulovat, a následně je možné začít vážit. Na váhu se položí malá nádoba, do které se postupně malou lžičkou přidává množství nanočástic ve formě prášku.

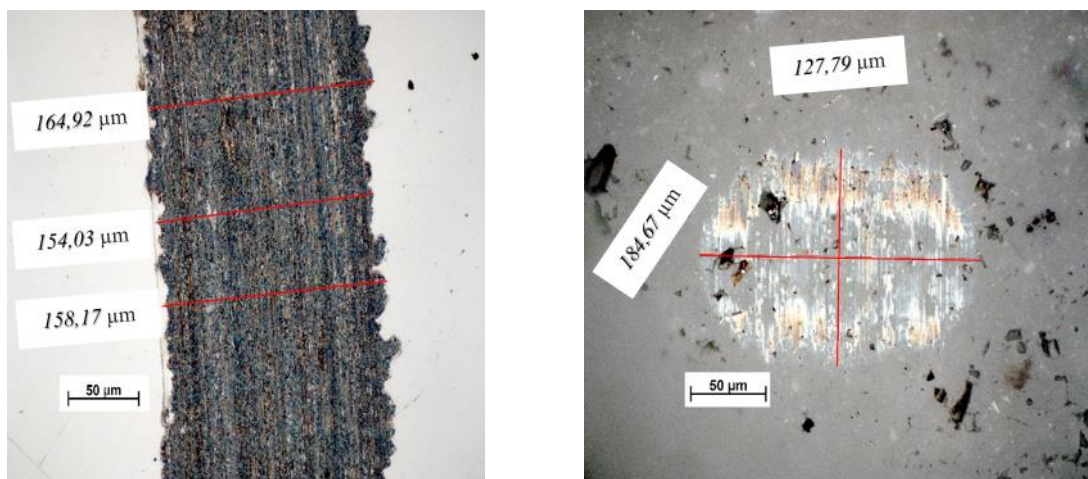
V první fázi se na nádobku nanášely nanočástice oxidu hlinitého, a muselo se dosáhnout hodnoty 0,02 g. Po dosažení této hodnoty, se otevřela v ochranné buňce láhev s hydraulickým olejem, a množství nanočástic se do hydraulického oleje vysypalo. V druhé fázi se váha vynulovala a do čisté nádobky se nanášely nanočástice oxidu křemičitého. Bylo zapotřebí dosáhnout hodnoty 0,03 g. Po dosažení této hodnoty, se nanočástice opět vysypaly do láhve s hydraulickým olejem. Dosáhli jsme 0,5 l hydraulického oleje smíchaného s 0,02 g nanočástic oxidu hlinitého a 0,03 g nanočástic oxidu křemičitého.



Obrázek 28: Speciální váha pro měření množství nanočástic

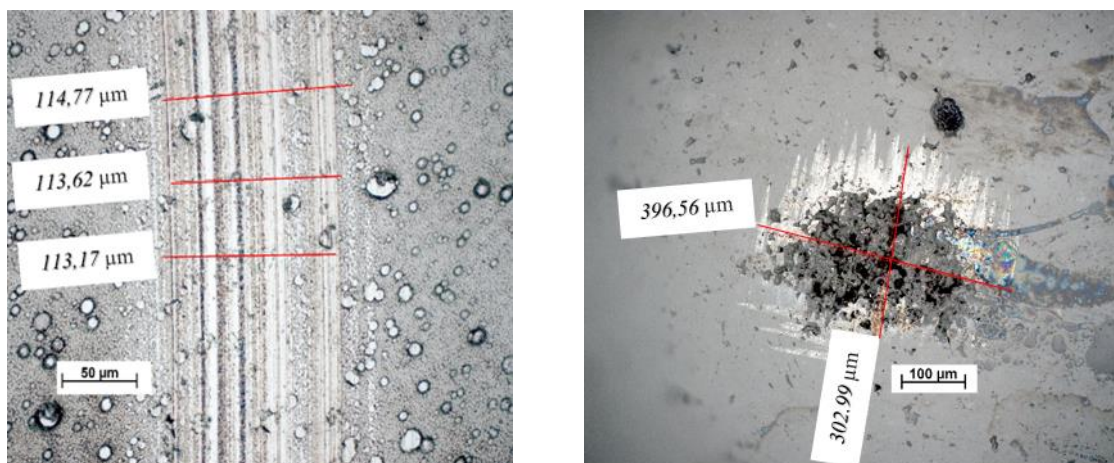
Před zahájením tribologického procesu, se tato láhev dala na speciální zařízení, kde došlo k promíchání hydraulického oleje s nanočásticemi. Jakmile skončil proces promíchávání, bylo možné přikročit k tribologickému měření. Do otočného stolku se opět vložil vzorek oceli a následně se přímo do otočného stolku nalilo 100 ml hydraulického oleje s nanočásticemi. Hydraulický olej byl opět při procesu měření zahříván. Jelikož se tribologické měření provádělo dvakrát pro ocel s leštěným povrchem a třikrát pro ocel s povrchovou vrstvou CrN_x , musel se olej po každém měření odsát, dát vychladit a použil se studený olej. Je důležité, aby se olej zahřívával v průběhu měření, nesmělo se tedy pro další měření použít hned hydraulický olej z předchozího měření.

5.4.2 Opotřebení třecí dvojice při použití hydraulického oleje OHHM-32 aditivovaného nanočásticemi SiO_2 a Al_2O_3



Obrázek 29: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 a kuličky Al_2O_3 po tribologii za použití hydraulického oleje OHHM-32 aditivovaného nanočásticemi SiO_2 a Al_2O_3

Pomocí aditivace hydraulického oleje nanočásticemi, jsme dosáhli nejmenšího opotřebení povrchu na leštěné oceli (Obr. 29). Nanočástice rozptýlené v oleji vytvoří na povrchu oceli ochranný film, který dokáže snížit tření. Nanočástice dokáží zvýšit pevnost povrchu a tím snížit opotřebení. Pomocí aditivace hydraulického oleje jsme dosáhli nejmenšího opotřebení povrchu leštěné oceli, a jelikož byla ocel v průběhu tribologického měření v kontaktu s kuličkou, která vytvářela opotřebení na povrchu, je patrné že i kulička dosáhne nejmenších hodnot opotřebení povrchu, protože hydraulický olej s nanočásticemi zabránil kuličce se během procesu tribologického měření dostat do větší hloubky povrchu oceli (Obr. 29).



Obrázek 30: Opotřebení povrchů oceli ČSN 12 050 s vrstvou CrN_x a kuličky Al_2O_3 po tribologii za použití hydraulického oleje OHHM-32 aditivovaného nanočásticemi SiO_2 a Al_2O_3

Povrchová vrstva není prodřená, stále je na povrchu dostatečné množství. Pomocí hydraulického oleje s nanočásticemi jsme dosáhli nejnižšího opotřebení oceli s povrchovou vrstvou (Obr. 30). Oproti měření na sucho a s hydraulickým olejem jsme dosáhli lepších výsledků, z kterých je zřejmé, že při aplikaci nanočástic na ocel, která má povrchovou vrstvu by mohlo v běžném zařízení docházet k daleko menšímu opotřebení povrchu. Hydraulický olej s nanočásticemi snížil opotřebení, a proto kulička nedo-

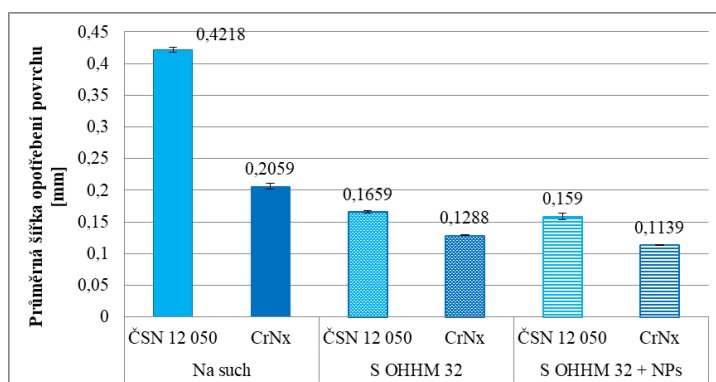
kázala více proniknout do povrchu oceli, protože jí v tom bránila tvrdá povrchová vrstva a nanočástice rozptýlené v hydraulickém oleji dokázaly zvýšit pevnost povrchu oceli a tím snížit opotřebení povrchu. Kulička se snažila během měření proniknout do povrchové vrstvy, ale z naměřených hodnot se dá usoudit, že postupně začalo docházet k většímu opotřebení kuličky, protože nemohla proniknout skrze vrstvu.

5.5 Souhrn opotřebení různých druhů třecí dvojice při tření na sucho a při použití oleje bez/s aditivací nanočásticemi

Tabulka 7: Průměrná šířka opotřebení povrchu

Na sucho [mm]		S hydraulickým olejem [mm]		S hydraulickým olejem a nanočásticemi [mm]	
ČSN 12 050	CrN _x	ČSN 12 050	CrN _x	ČSN 12 050	CrN _x
0,4167	0,2083	0,1666	0,1280	0,1649	0,1148
0,4232	0,2005	0,1675	0,1288	0,1540	0,1136
0,4254	0,2088	0,1636	0,1295	0,1582	0,1132
0,4218±0,00452	0,2059±0,00465	0,1659±0,00204	0,1288±0,00075	0,1590±0,00549	0,1139±0,00083

Z naměřených hodnot u jednotlivých procesů měření tribologie se udělal aritmetický průměr, pro dosažení průměrné šířky opotřebení na povrchu ocelí (Graf 2). Výsledky ukazují, že nejnižší opotřebení nastalo při tribologii s hydraulickým olejem doplněného o nanočástice.

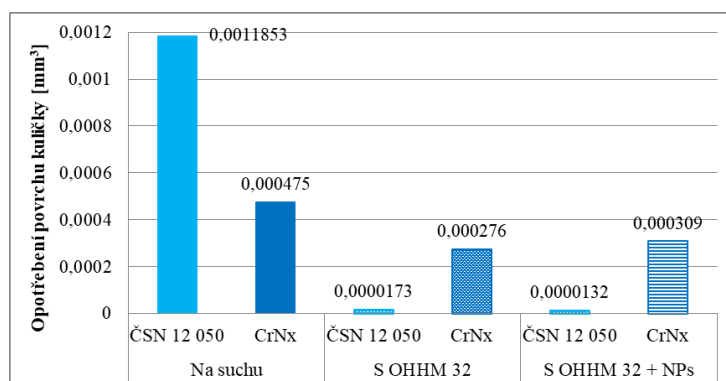


Graf 2: Průměrná šířka opotřebení povrchu

Tabulka 8: Opotřebení povrchu kuličky

Na sucho [mm]		S hydraulickým olejem [mm]		S hydraulickým olejem a nanočásticemi [mm]	
ČSN 12 050	CrN _x	ČSN 12 050	CrN _x	ČSN 12 050	CrN _x
0,5273	0,4473	0,1854	0,3818	0,1847	0,3966
0,4941	0,3243	0,1660	0,3036	0,1278	0,3030
Průměr kuličky 6,00 mm		Průměr kuličky 6,00 mm		Průměr kuličky 6,00 mm	
0,0011853 [mm ³]	0,000475 [mm ³]	0,0000173 [mm ³]	0,000276 [mm ³]	0,0000132 [mm ³]	0,000309 [mm ³]

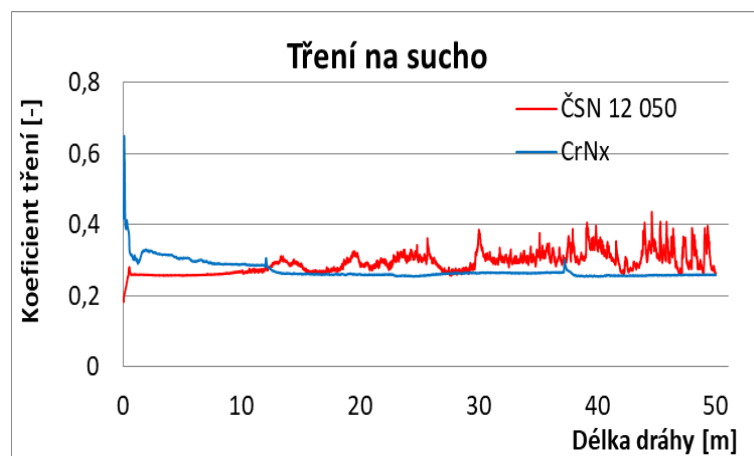
Při tribologickém měření dochází také k opotřebení povrchu kuličky. Z naměřených hodnot se pomocí vzorečku vypočítalo opotřebení kuličky dle normy ČSN EN 1071-13 (Graf 3). Z výsledných hodnot je viditelné, že největší opotřebení nastává při tribologickém měření na suchu.



Graf 3: Opotřebení povrchu kuličky

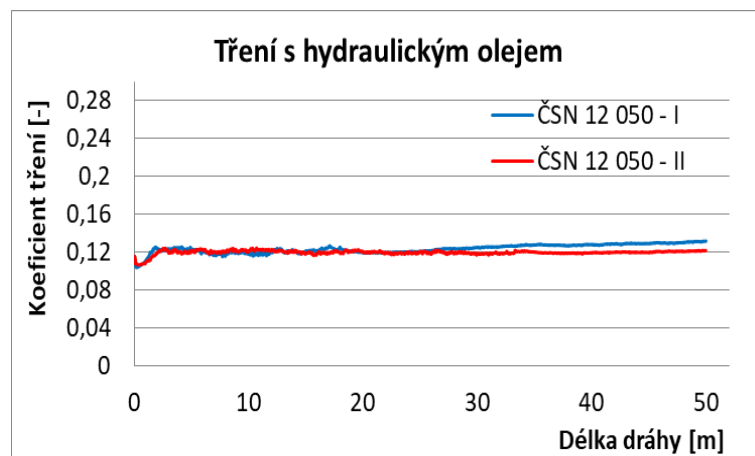
5.6 Výsledné grafy součinitele tření po tribologickém měření

Tribologická měření byla prováděna s cílem hodnocení kluzných vlastností zvolené třecí dvojice, dále pro zjištění velikosti opotřebení povrchu oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem a povrchovou vrstvou CrN_x a také velikost opotřebení povrchu kuličky. Dalším důležitým faktorem, který hraje při tribologickém měření roli je tření, které vzniká mezi protikusem materiálu ve formě kuličky a povrchem oceli. Při tření dochází mezi dvěma tělesy, v našem případě mezi kuličkou a ocelí k vytvoření tečné síly, která vznikne ve styčné ploše mezi oběma tělesy. Vlivem tření dochází ke zvýšení teploty v místě stykových ploch.



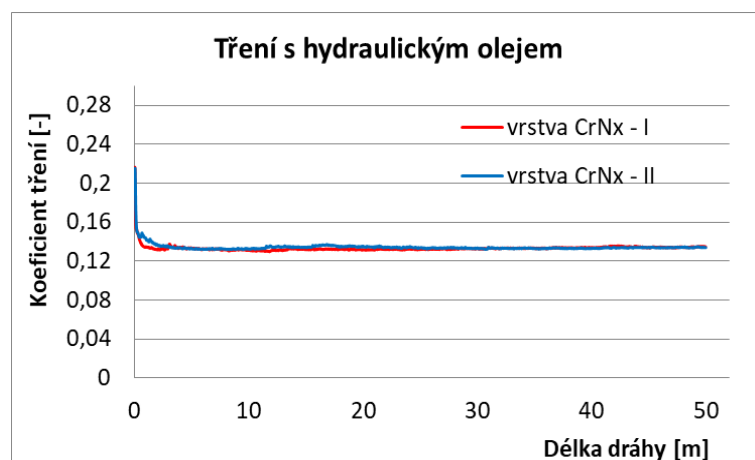
Graf 4: Koeficient tření u oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem a povrchovou vrstvou CrN_x proti kuličce z materiálu Al₂O₃ při tření na sucho

Graf 4 poukazuje na tření na sucho mezi kuličkou a povrchem oceli při vzdálenosti 50 m, z grafu je patrné, že ocel s povrchovou vrstvou vykazovala při začátku měření s protikusem materiálu výrazně větší hodnotu tření, a je to tím, že povrchová vrstva je velice tvrdá, a snaží se bránit kuličce ve vniknutí do povrchu oceli, ale postupně jak se kulička snaží pronikat hlouběji do povrchové vrstvy, tření se snižuje, může to být dáno tím, že kulička překonala hlavní odpor povrchové vrstvy. Ocel s leštěným povrchem má ze začátku měření daleko menší tření, protože povrch je čistý, bez vrstvy, a kuličce nebrání žádná povrchová vrstva k vniknutí do oceli. Po překonání leštěného povrchu, se tření mírně ustálí.



Graf 5: Koeficient tření u oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem oproti kuličce z materiálu Al_2O_3 při použití hydraulického oleje

Graf 5 znázorňuje průběh koeficientu tření při dráze 50 m. Výsledný průběh koeficientu tření patří oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem. Tato ocel byla měřena 2krát a to při poloměru 5 mm a 7 mm. Z grafu je patrné, že výsledné průběhy při měření na rozdílných poloměrech jsou skoro shodné. Kulička při začátku měření, musela překonat odpor povrchu oceli, což vedlo k nárůstu tření mezi kuličkou a materiálem, a jakmile kulička pronikla přes povrch oceli, došlo k mírnému ustálení. Oproti měření na sucho, došlo k výraznému snížení tření, protože docházelo ke tření mezi kuličkou a ocelí v hydraulickém oleji, který pomohl snížit tření.

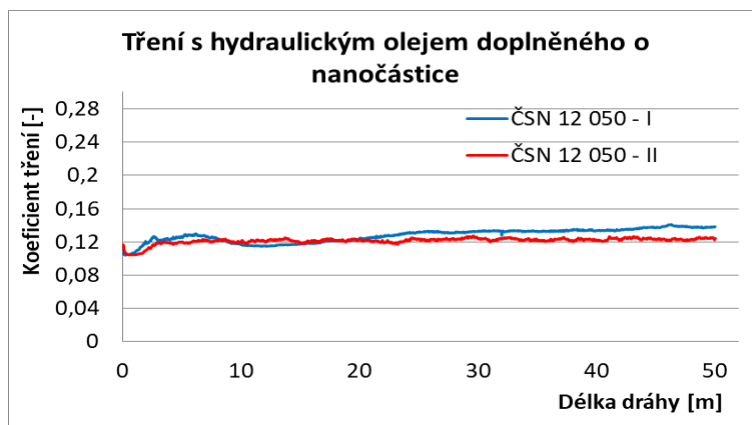


Graf 6: Koeficient tření u oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrNx oproti kuličce z materiálu Al_2O_3 při použití hydraulického oleje

Graf 6 ukazuje koeficient tření při dráze 50 m. Výsledný průběh koeficientu tření patří oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrNx. Byla měřena pouze ocel s povrchovou vrstvou, a to na poloměrech 5 mm a 7 mm. Průběh křivek je téměř shodný, ale oproti měření na sucho je patrné, že i zde dokázal hydraulický olej snížit výrazně tření mezi povrchem kuličky a ocelí.

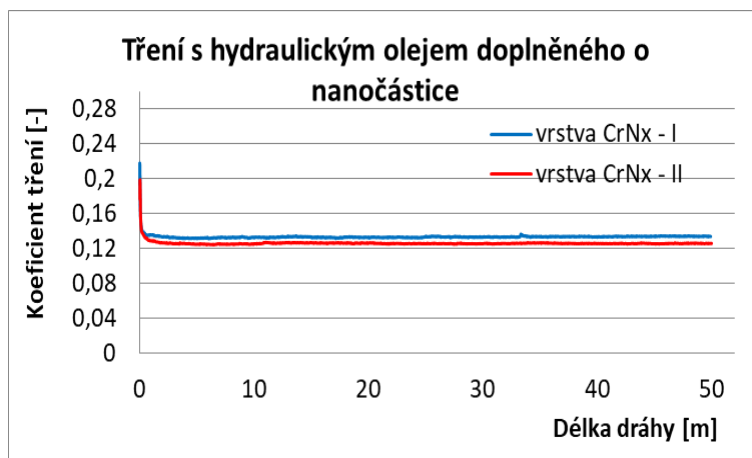
Je to tím, že vlivem tření dochází ke vzniku tepla, a u měření na sucho, nedocházelo k žádnému použití procesní kapaliny, která by dokázala v daném místě tření snížit. Zatímco u měření s hydraulickým olejem, byl olej neustále v kontaktu s kuličkou a ocelí. A olej tím, že byl přímo mezi kuličkou a ocelí, a nedocházelo tedy tak ke kontaktu dvou těles přímo, umožnil snížit tření. Z grafu 4 je patrné, že i přesto měla povrchová vrstva dostatečnou odolnost, a snažila se zabránit vniknutí kuličky do povrchu oceli, čímž

docházelo ke zvýšení tření, ale postupně se kulička dostala do povrchové vrstvy, a hodnota tření se ustálila, protože odpor vrstvy oproti kuličce se snížil.



Graf 7: Koefficient tření u oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem oproti kuličce z materiálu Al_2O_3 při použití hydraulického oleje aditivovaného nanočásticemi

Graf 7 ukazuje koeficient tření při dráze 50 m. Výsledné průběhy patří oceli ČSN 12 050 s leštěným povrchem. Tribologické měření bylo provedeno 2krát a to na poloměrech 5 mm a 7 mm. Oproti tření na sucho, bylo za použití hydraulického oleje doplněného o nanočástice dosaženo menšího tření. Na první pohled se zdá, že průběhy křivek jsou totožné s průběhy u měření s hydraulickým olejem. Ale nanočástice umožnily dosažení lepších hodnot v průběhu tření.



Graf 8: Koefficient tření u oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN_x oproti kuličce z materiálu Al_2O_3 při použití hydraulického oleje aditivovaného nanočásticemi

Graf 8 ukazuje koeficient tření při dráze 50 m. Výsledné průběhy patří oceli ČSN 12 050 s povrchovou vrstvou CrN_x . Tribologické měření bylo provedeno 2krát a to na poloměrech 5 mm a 7 mm. Oproti měření na sucho bylo dosaženo nižších hodnot, protože hydraulický olej s nanočásticemi snížil tření, které vznikalo mezi kuličkou a ocelí. Hydraulický olej s nanočásticemi, umožnil vytvořit hladší průběhy křivek než u měření pouze s hydraulickým olejem, protože docházelo ke snížení tření mezi kuličkou a ocelí. Začátek tření probíhal velice podobně jako u měření s hydraulickým olejem, bylo dosaženo poměrně stejné hodnoty. Jakmile kulička prorazila počáteční odpor vrstvy, tak došlo k téměř ustálenému průběhu, zatím co u měření pouze s hydraulickým olejem docházelo k určitým výkyvům, protože vrstva kladla větší odpor. Nanočástice umožnily spolu s hydraulickým olejem dosažení lepšího průběhu tření.

6 Závěr

Cílem této práce bylo studovat změny tribologického chování lubrikantů po aditivaci nanočásticemi. Změny chování lubrikantu byly pozorovány při tribologii, která probíhala mezi kuličkou z Al_2O_3 a ocelí ČSN 12 050 s vyleštěným povrchem a povrchovou vrstvou CrN_x . Dle zadání, bylo zapotřebí zjistit, jak nanočástice ovlivní chování lubrikantu při tribologii. Za lubrikant byl volen hydraulický olej komerčním označením OHHM-32, do kterého se aditively nanočástice SiO_2 a Al_2O_3 . Aby bylo dodrženo zadání a byly lépe vidět změny chování lubrikantu, docházelo také k tribologii pouze na suchu a za pomoci hydraulického oleje s komerčním označením OHHM-32 bez aditivace, a to proto, aby bylo možné porovnat výsledky mezi sebou, a tím zjistit, jestli nanočástice opravdu ovlivnily chování lubrikantu. Dalším záměrem této práce bylo sledovat, jak se odlišuje opotřebení třecí dvojice po tribologii, která probíhala na suchu, v hydraulickém oleji s komerčním označením OHHM-32 a také v hydraulickém oleji OHHM-32 aditivovaného nanočásticemi SiO_2 a Al_2O_3 .

V první části jsem se zaměřil na stanovení parametrů plošné drsnosti S_a a S_z u oceli ČSN 12 050 s vyleštěným povrchem a povrchovou vrstvou CrN_x . U oceli s vyleštěným povrchem po třetím měření bylo dosaženo průměrné aritmetické výšky $0,018 \mu\text{m}$ se směrodatnou odchylkou $0,005 \mu\text{m}$, a také bylo dosaženo největší průměrné výšky $0,283 \mu\text{m}$ se směrodatnou odchylkou $0,044 \mu\text{m}$. U oceli s povrchovou vrstvou CrN_x po třetím měření bylo dosaženo průměrné aritmetické výšky $0,411 \mu\text{m}$ se směrodatnou odchylkou $0,060 \mu\text{m}$, a také bylo dosaženo největší průměrné výšky $5,329 \mu\text{m}$ se směrodatnou odchylkou $0,723 \mu\text{m}$. Z naměřených výsledků je patrné, že povrchová vrstva CrN_x má vyšší drsnost povrchu, a zároveň se také u povrchové vrstvy naměřila podstatně větší tvrdost povrchu.

Povrchová vrstva CrN_x se nanáší na součásti, za účelem zvýšit odolnost povrchu proti opotřebení. Z naměřených hodnot drsnosti a tvrdosti je možné konstatovat, že povrchová vrstva má drsnější strukturu, která se vyznačuje podstatně větší tvrdostí než ocel bez vrstvy, proto povrchová vrstva umožňuje snížit opotřebení povrchu. Při tribologii jsme se zaměřili na stanovení opotřebení povrchu oceli 12 050 s leštěným povrchem a povrchovou vrstvou CrN_x , která vytvářela třecí dvojici spolu s kuličkou z Al_2O_3 . Při tribologii na suchu bylo dosaženo u oceli s leštěným povrchem průměrné šířky opotřebení $0,4218 \text{ mm}$ se směrodatnou odchylkou $0,0045 \text{ mm}$, a u povrchové vrstvy bylo dosaženo průměrné šířky opotřebení $0,2059 \text{ mm}$ se směrodatnou odchylkou $0,00465 \text{ mm}$. Při tribologii na suchu povrchová vrstva CrN_x snížila opotřebení o polovinu.

Při tribologii s hydraulickým olejem s komerčním označením OHHM-32 bylo u oceli ČSN 12 050 s vyleštěným povrchem dosaženo průměrné šířky opotřebení $0,1659 \text{ mm}$ se směrodatnou odchylkou $0,00204 \text{ mm}$, a u povrchové vrstvy bylo dosaženo průměrné šířky opotřebení $0,1288 \text{ mm}$ se směrodatnou odchylkou $0,00075 \text{ mm}$. Z naměřených hodnot je zřejmé, že hydraulický olej, který vytvářel ochranný film mezi kuličkou a ocelí, dokázal přispět ke snížení opotřebení. Z těchto dvou měření je dle dostupných výsledků zřejmé, že hydraulický olej, se kterým se můžeme setkat v hydraulických soustavách, pomáhá snižovat tření mezi pracovními součástmi. Všeobecně se o lubrikantech dá říci, že na povrchu vytváří ochranný film.

Pomocí aditivace hydraulického oleje s komerčním označením OHHM-32 nanočásticemi SiO_2 a Al_2O_3 , jsme dosáhli podstatně nižšího opotřebení oproti tribologii na suchu. Nanočástice zlepšily mazací schopnosti hydraulického oleje, dokázaly zvýšit pevnost povrchu a tím došlo k nejmenšímu opotřebení

povrchu oceli. U oceli ČSN 12 050 s vyleštěným povrchem bylo dosaženo průměrné šířky opotřebení 0,1590 mm se směrodatnou odchylkou 0,00549 mm, a u povrchové vrstvy bylo dosaženo průměrné šířky opotřebení 0,1139 mm se směrodatnou odchylkou 0,00083 mm. Závěrem mohu říci, že u oceli s povrchovou vrstvou CrN_x je při tribologii probíhající na suchu, v hydraulickém oleji s komerčním označením OHHM-32 a také v hydraulickém oleji s komerčním označením OHHM-32 aditivovaného nanočásticemi SiO₂ a Al₂O₃ dosaženo nižšího opotřebení než u oceli s vyleštěným povrchem.

V případě použití lubrikantů lze snížit opotřebení, ale pokud do lubrikantů přidáme aditivum ve formě nanočástic, je možné dosáhnout ještě menšího opotřebení povrchu. Lubrikant aditivovaný nanočásticemi tvoří pro průmyslovou praxi vhodné mazivo, které nejenom že sníží tření, ale umožní zacelit poškozená místa na povrchu, vytvořit lepší strukturu a tím i prodloužit životnost dílu. Spolu s povrchovou vrstvou CrN_x vytváří kombinaci, která by mohla výrazně promluvit do prodlužování servisních intervalů pracovních součástí, zlepšit jejich životnost a tím dosáhnout poměrně větší produktivity práce.

Seznam použité literatury

- [1] KOZÁK, Ondřej. Přehled olejů a jejich inženýrských aplikací [online]. [vid. 6.11.2017].
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_ve_rejne.php?file_id=101113
- [2] Projekt: Inovace oboru Mechatronik pro Zlínský kraj [online]. [vid. 6.11.2017].
Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=26168&instance=2>
- [3] Bc. CUPAL, Tomáš. Stanovení degradace hydraulického oleje [online]. © 2017 [vid. 6.11.2017].
Dostupné z: https://theses.cz/id/k30y6d/zaverecna_prace.pdf
- [4] Láhev minerálního oleje [online]. [vid. 7.11.2017].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Minerální_olej#/media/File:Mineral_oil_bottle_front.jpg
- [5] Minerální olej [online]. [vid. 7.11.2017].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Miner%C3%A1ln%C3%AD_olej
- [6] Frakční destilace [online]. [vid. 19.11.2017].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Frak%C4%8Dn%C3%AD_destilace
- [7] Pravěk [online]. [vid. 6.11.2017].
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Prav%C4%9Bk>
- [8] Tribologie [online]. [vid. 6.11.2017].
Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/ttv/tribologie.pdf
- [9] doc. Ing. HELEBRANT, František, CSc, Ing. HRABEC, Ladislav, Ph.D, Ing. Jan, BLATA, Ph.D. PROVOZ, DIAGNOSTIKA A ÚDRŽBA STROJŮ [online]. © 2013 [vid. 6.11.2017].
Dostupné z: <http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/12Provoz,%20diagnostika%20a%20údržba%20strojů%2004.pdf>
- [10] POŠTA, Josef. Opotřebení [online]. [vid. 9.11.2017].
Dostupné z: <http://www.gsxr.wz.cz/opotreb.htm>
- [11] Tribologické vlastnosti materiálových dvojic [online]. [vid. 9.11.2017].
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14074
- [12] Inhibitory koroze [online]. [vid. 10.11.2017].
Dostupné z: <https://euroclean.cz/chemie/inhibitory-koroze/>
- [13] Kavitační opotřebení [online]. [vid. 10.11.2017].
Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12011/kavitacni-opotrebeni.html>
- [14] Kavitace [online]. [vid. 10.11.2017].
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kavitace>
- [15] Imploze [online]. [vid. 10.11.2017].
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Imploze>
- [16] Nanotechnologie, nanočástice a nanomateriály [online]. [vid. 6.11.2017].
Dostupné z: <http://www.nanocastice.cz/definice-nanotechnologie/>
- [17] Nanotechnologie, nanočástice a nanomateriály [online]. [vid. 6.11.2017].
Dostupné z: <http://www.nanocastice.cz/vyuziti-nanocastic/>
- [18] HÁJKOVÁ, Zdenka. Velká věda o malých věcech [online]. © 2009 [vid. 11.11.2017].
Dostupné z: http://old.studiumchemie.cz/materialy/Zdenka_Hajkova/nanotechnologie.pdf

- [19] Povrchové úpravy [online]. [vid. 6.11.2017].
Dostupné z: <http://www.povrchoveupravy.cz/2010-02-clanek02.html>
- [20] Využití nanotechnologií při přípravě nutraceutik a funkčních potravin [online]. [vid. 11.11.2017].
Dostupné z:
https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUKEwiRtbv1xbbXAhXIfFAKHfBEQQFgg9MAQ&url=https%3A%2F%2Fweb.vscht.cz%2F~schulzov%2FNutraceutika%2520a%2520FP%2FNutraceutika_nanocastice_V1.ppt&usg=AOvVaw1DKhrpm1Q-a6gyK7Fwd1z0
- [21] Bc. PODLIPNÝ, David. Vlastnosti antibakteriálních kompozitů [online]. © 2015/2016
[vid. 11.11.2017].
Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/38970/podlipny_2016_dp.pdf?sequence=-
- [22] Studium biocidních účinků nanočástic stříbra [online]. [vid. 11.11.2017].
Dostupné z:
http://tvp.vscht.cz/files/uzel/0010739/C8rMyC9LVEgsLsjPiXdMLklUcM0rC81zzs9NzYs3MjA0jTcEA_A.pdf?redirected
- [23] JELÍNEK, Martin. STUDIUM NANOMATERIÁLŮ PRO JEJICH POUŽITÍ V JADERNÉ ENERGETICE A VÝZKUMU [online]. © 2015 [vid. 11.11.2017].
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=104554
- [24] Kompozitní materiál [online]. [vid. 20.11.2017].
Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kompozitní_materiál
- [25] Chemické listy [online]. [vid. 12.11.2017].
Dostupné z: http://w.chemicke-listy.cz/docs/full/2010_10_940-944.pdf
- [26] MAUER, Milan. POUŽITÍ DETONOVANÝCH NANODIAMANTŮ V OBLASTI TRIBOLOGIE [online]. © 2016 [vid. 17.11.2017].
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=125260
- [27] Ing. KRÍŽOVÁ, Olga. Nanomaziva a možnosti jejich praktické aplikace [online]. [vid. 17.11.2017].
Dostupné z:
www.chematribos.cz/Nanomaziva%20a%20moznosti%20jejich%20prakticke%20aplikace.pdf
- [28] Co je to nanotechnologie? [online]. [vid. 18.11.2017].
Dostupné z: <http://www.extremesolution.cz/nanotechnologie/>
- [29] Chemické složení materiálu [online]. [vid. 15.04.2018].
Dostupné z:
www.killich.cz/stranky/technicke-info/ocelovy-spojovaci-material/chemicke-slozeni-materialu.htm
- [30] Ing. ŘASA, Jaroslav, CSc, Ing. Josef, ŠVERCL. STROJÍŘENSKÉ TABULKY 2 pro školu a praxi. 1. vyd. Praha 5: NAKLADATELSTVÍ SCIENTIA, spol. s r. o. ISBN 978-80-86960-20-3
- [31] ZINDULKA, Ondřej, Vjačeslav, SOCHORA. PVD povlak CrNx – když tloušťka není na závadu [online]. © 2016 [vid. 17.04.2018].
Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/pvd-povlak-crn-x-kdyz-tloustka-neni-na-zavadu.html>
- [32] ŠÍMA, JÍLEK. Vytváření oteruvzdorných povlaků na nástrojích technologií PVD [online]. [vid. 17.04.2018].
Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/attachments/302/Technologie_PVD.pdf

Seznam příloh

Příloha A: Bezpečnostní list hydraulického oleje s komerčním označením OHHM-32



BEZPEČNOSTNÍ LIST

podle nařízení (ES) č. 1907/2006 (REACH), ve znění nařízení komise (EU) č. 453/2010

Název výrobku: PARAMO HM 32
Datum vydání: 27. 8. 2007
Datum změny: 17. 9. 2015 (verze 3.1)

ODDÍL 1: IDENTIFIKACE LÁTKY/SMĚSI A SPOLEČNOSTI/PODNIKU

1.1 Identifikátor výrobku

Obchodní název:

PARAMO HM 32

Chemický název:

Směs

Registrační číslo:

Není

Indexové číslo:

Není

1.2 Příslušná určená použití látky nebo směsi a nedoporučená použití

Hydraulický olej.

1.3 Podrobné údaje o dodavateli bezpečnostního listu

Název: PARAMO, a.s.

Sídlo: Přerovská 560, 530 06 Pardubice

Identifikační číslo: 48173355

Telefon: +420 466 810 111

Fax: +420 466 335 019

E-mail: paramo@paramo.cz

Internetové stránky: www.paramo.cz

Osoba odpovědná za BL: Ladislava Víchová, ladislava.vichova@paramo.cz

1.4 Telefonní čísla pro naléhavé situace

Dispečink PARAMO, a.s.: +420 466 303 175

Toxikologické informační středisko: Na Bojišti 1, 128 08 Praha 2, tel. pro ČR (24 h denně): 224 919 293, 224 915 402, 224 914 575

TRINS (Transportní informační a nehodový systém) tel. +420 476 709 826

ODDÍL 2: IDENTIFIKACE NEBEZPEČNOSTI

2.1 Klasifikace látky nebo směsi

Podle Nařízení (ES) č. 1272/2008 (CLP) není výrobek klasifikován jako nebezpečný.

2.2 Prvky označení podle Nařízení (ES) č. 1272/2008 (CLP)

Piktogram: není

Signální slovo: není

Standardní věty o nebezpečnosti:

Nejsou.

Pokyny pro bezpečné zacházení:

Nejsou.

Doplňující údaje na štítku

Na vyžádání je k dispozici bezpečnostní list. (Poznámka: Uvést na obal, který není určený pro širokou veřejnost.)

Další náležitosti

Nejsou.

2.3 Další nebezpečnost

Není látkou perzistentní, bioakumulativní a toxickou nebo vysoce perzistentní a vysoce bioakumulativní dle kritérií v příloze XIII. nařízení ES (PBT, vPvB).

Hořlavá kapalina. Nebezpečí hoření hrozí v případě zahřátí nad teplotu bodu vzplanutí. Při dlouhodobém, resp. často opakované expozici může dojít k podráždění očí a kůže. Prodloužený přímý kontakt může vést k odmaštění pokožky a následnému podráždění. Inhalace olejové mlhy může podráždit dýchací cesty. Nepředpokládá se, že by mohl vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky v životním prostředí.



BEZPEČNOSTNÍ LIST

podle nařízení (ES) č. 1907/2006 (REACH), ve znění nařízení komise (EU) č. 453/2010

Název výrobku: PARAMO HM 32
Datum vydání: 27. 8. 2007
Datum změny: 17. 9. 2015 (verze 3.1)

ODDÍL 3: SLOŽENÍ/INFORMACE O SLOŽKÁCH

3.1 Látky

Nejedná se o látku.

3.2 Směsi

Chemické látky výrobku s nebezpečnými vlastnostmi

Název CHL	Obsah CHL ve výrobku v %	Číslo ES	Číslo CAS	Klasifikace podle 1272/2008/ES	Registrační číslo
*Destilát (ropný) hydrokrakovaný těžký	expoziční limity viz 8.1				01-2119488951-26
*Mazací oleje	expoziční limity viz 8.1				01-2119495801-36

*Základový olej má hodnotu DMSO méně než 3 %, a proto se neklasifikují jako karcinogen.

Úplné texty H-vět jsou uvedeny v oddíle 16.

Další informace

Stanovené expoziční limity Společenství pro pracovní prostředí viz 8.1.

ODDÍL 4: POKYNY PRO PRVNÍ POMOC

4.1 Popis první pomoci

V případě první pomoci se postiženému uvolní těsný oděv a udržuje se v teple a v klidu. Pokud je postižený při vědomí, uloží se do stabilizované polohy a okamžitě se přivolá lékařská pomoc. V případě zástavy srdeční činnosti se poskytnou postiženému masáž srdce a přivolá se okamžitě lékařská pomoc. Pokud postižený není při vědomí a dýchá, uloží se do stabilizované polohy a přivolá se lékařská pomoc.

Pokyny pro první pomoc se člení podle jednotlivých cest expozice:

Expozice vdechováním: V případě nadýchání aerosolu přemístit postiženého na čerstvý vzduch.

Styk s kůží: Při kontaktu pokožky s přípravkem urychleně postižené místo důkladně omýt vodou a mýdlem, ošetřit vhodným krémem.

Zasažení očí: Zkontrolovat přítomnost kontaktních čoček, pokud je postižený má nasazený, tak je vyjmout. Oči vymývat dostatečným množstvím vody (pokud možno vlažné) po dobu minimálně 15 minut. V případě přetrvávajícího podráždění vyhledat lékaře.

Požiti: Vypláchnout ústa vodou, nikdy nevyvolávat zvracení.

4.2 Nejdůležitější akutní a opožděné symptomy a účinky

Nejsou.

4.3 Pokyn týkající se okamžité lékařské pomoci a zvláštního ošetření

Inhalace: Kontrolujte dýchání a tepovou frekvenci postiženého. Nevývolávejte zvracení.

Požiti a vdechnutí: Vyvolání zvracení a výplach žaludku jsou kontraindikací. Aplikace živočišného uhlí je neefektivní. Postižený je nepřetržitě monitorován po dobu 48 až 72 hodin. Sledování příznaku plicního otoku začíná 6 hodin po požití nebo vdechnutí a pokračuje nejméně 48 až 72 hodin.

ODDÍL 5: OPATŘENÍ PRO HAŠENÍ POŽÁRU

5.1 Hasiva

Vhodná hasiva: Těžká, střední, lehká vzduchomechanická pěna, hasicí prášek, CO₂.

Nevhodná hasiva: Proud vody (použit pouze na chlazení).

5.2 Zvláštní nebezpečnost vyplývající z látky nebo směsi

Produkty hoření a nebezpečné plyny: kouř, oxid uhelnatý, oxid uhličitý, oxidy dusíku, oxidy síry a fosforu.

5.3 Pokyny pro hasiče

Zásahové jednotky vystaveny kouři nebo parám musí být vybaveny prostředky pro ochranu dýchání a očí. Při zásahu v uzavřených prostorech je nutno použít izolační dýchací přístroj.

BEZPEČNOSTNÍ LIST

podle nařízení (ES) č. 1907/2006 (REACH), ve znění nařízení komise (EU) č. 453/2010

Název výrobku: **PARAMO HM 32**
Datum vydání: 27. 8. 2007
Datum změny: 17. 9. 2015 (verze 3.1)

ODDÍL 6: OPATŘENÍ V PŘÍPADĚ NÁHODNÉHO ÚNIKU**6.1 Opatření na ochranu osob, ochranné prostředky a nouzové postupy**

Zabránit znečištění oděvu a obuvi produktem a kontaktu s kůží a očima. Použít vhodný ochranný oděv, znečištěný oděv urychleně vyměnit. Větší úniky mohou být pokryty pěnou, pokud je to možné, z důvodu omezení tvorby par a aerosolů. Zajistit odvětrání zasaženého místa. Všechny osoby, nepodílející se na záchranných pracích, vykázat do dostatečné vzdálenosti.

6.2 Opatření pro ochranu životního prostředí

Co nejrychleji zabránit rozšíření úniku a vniku do kanalizací, podzemních a povrchových vod a zeminy, nejlépe ohraničením prostoru (hrázky, normé stěny, uzavření kanálových vpustí). Uvédomit příslušné orgány.

6.3 Metody a materiál pro omezení úniku a pro čištění

V případě úniku lokalizovat, a pokud je to možné, produkt odčerpat nebo produkt mechanicky odstranit, stáhnout z povrchu vod. Zbytky nebo menší množství nechat vsáknout do vhodného sorbentu (Vapex, Chezacarb, piliny, písek) a umístit do vhodných popsaných nádob k předání k zneškodnění v souladu s platnou legislativou pro odpady.

6.4 Odkaz na jiné oddíly

Kromě pokynů uvedených v tomto oddíle jsou důležité informace uvedené také v oddíle 8 – Omezování expozice a v oddíle 13 – Pokyny pro odstraňování.

ODDÍL 7: ZACHÁZENÍ A SKLADOVÁNÍ**7.1 Opatření pro bezpečné zacházení**

Objekt musí být vybaven podle ČSN 75 3415. Při manipulaci s těžkými obaly použít vhodné manipulační prostředky. Vyvarovat se rozlití produktu – hrozí nebezpečí uklouznutí.

7.2 Podmínky pro bezpečné skladování látek a směsí včetně neslučitelných látek a směsí

Skladovat v těsně uzavřených obalech na místech chráněných proti dešti, prachu, horku a jiným povětrnostním vlivům. Maximální teplota pro skladování je 40 °C. Chránit před vniknutím vody a mechanických nečistot. Chránit před světlem.

7.3 Specifické konečné/specifická konečná použití

Náplně hydrostatických mechanismů s vysokým mechanickým a tepelným namáháním.

ODDÍL 8: OMEZOVÁNÍ EXPOZICE/OSOBNÍ OCHRANNÉ PROSTŘEDKY**8.1 Kontrolní parametry**

Limitní hodnoty expozice na pracovišti (podle nařízení č. 361/2007 Sb., v platném znění):

PEL	oleje minerální (aerosol): 5 mg/m ³
NPK-P	oleje minerální (aerosol): 10 mg/m ³
Inhalace: dlouhotrvající expozice: pracovníci	DNEL (inhalace) občasné = 5,4 mg/m ³ /8 h (aerosol)
veřejnost	DNEL (inhalace) občasné = 1,2 mg/m ³ /24 h (aerosol)

8.2 Omezování expozice

Dodržování obecných bezpečnostních a hygienických opatření, nejíst, nepít, nekouřit. Po omytí pokožky teplou vodou a mýdlem preventivně ošetřit reparačním krémem.

Ochrana očí a obličeje: Ochranné brýle, případně obličejový štít.

Ochrana kůže: Používat ochranné rukavice odolné ropným látkám testované dle EN 374, nejlépe z nitrilového nebo neoprenového kaučuku.

Ochrana dýchacích cest: Není nutná, pokud koncentrace par ve vzduchu nepřekročí koncentrační limity. V případě překročení, resp. při tvorbě aerosolu použít únikovou masku s filtrem A, AX (hnědý) nebo jiný vhodný typ proti organickým plynům a parám organických látek.

Tepelné nebezpečí: Není.

Omezování expozice životního prostředí: Je třeba zamezit úniku do životního prostředí všemi dostupnými prostředky.

BEZPEČNOSTNÍ LIST

podle nařízení (ES) č. 1907/2006 (REACH), ve znění nařízení komise (EU) č. 453/2010

Název výrobku: **PARAMO HM 32**
Datum vydání: 27. 8. 2007
Datum změny: 17. 9. 2015 (verze 3.1)

ODDÍL 9: FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLASTNOSTI**9.1 Informace o základních fyzikálních a chemických vlastnostech**

Vzhled: kapalina
Barva: žlutá
Zápach (vůně): bez zápachu
Prahová hodnota zápachu: nestanoveno
pH: nestanoveno
Bod tekutosti: pod -18 °C
Počáteční bod varu a rozmezí bodu varu: nestanoveno
Bod vzplanutí OK: nad 175 °C
Rychlost odpařování: nestanoveno
Hořlavost: IV. třída nebezpečnosti
Horní/dolní mezní hodnoty hořlavosti nebo výbušnosti: za běžných podmínek netvoří výbušné páry
Tlak páry: < 10 Pa při 20 °C
Hustota páry: vzhledem k nízkému tlaku par se nestanovuje
Relativní hustota: 870 kg/m³ při 15 °C
Rozpustnost: nerozpustný ve vodě
Rozdělovací koeficient: n-oktanol/voda: nestanoveno
Teplota samovznícení: nad 280 °C
Teplota rozkladu: nestanoveno
Viskozita při 40 °C: 28,8 až 35,2 mm²/s
Výbušné vlastnosti: není výbušný
Oxidační vlastnosti: není oxidující

9.2 Další informace

Bod hoření: nad 195 °C
Výhřevnost: nestanoveno

ODDÍL 10: STÁLOST A REAKTIVITA**10.1 Reaktivita:** Není reaktivní.**10.2 Chemická stabilita:** Při předepsaném způsobu skladování je přípravek stabilní.**10.3 Možnost nebezpečných reakcí:** K nebezpečným reakcím nedochází.**10.4 Podmínky, kterým je třeba zabránit:** Zahřátí na vysokou teplotu, přítomnost zdrojů vznícení, styk s otevřeným ohněm.**10.5 Neslučitelné materiály:** Silná oxidační činidla.**10.6 Nebezpečné produkty rozkladu:** Za normálních podmínek žádné, při hoření za nedostatku vzduchu možný vznik oxidu uhelnatého.**ODDÍL 11: TOXIKOLOGICKÉ INFORMACE****11.1 Informace o toxikologických účincích látky/směsi**

Akutní toxicita: orální toxicita (potkan) LD₅₀ > 5 000 mg/kg (OECD TG 401)
dermální toxicita (králík) LD₅₀ > 2 000 mg/kg (OECD TG 402)
inhalační toxicita (potkan) LC₅₀ > 5 000 mg/m³ (OECD TG 403)

Chronická toxicita: inhalační toxicita NOAEL > 220 mg/m³ (OECD 412)

Žravost/dráždivost pro kůži: Výsledky testů OECD TG 404 neprokázaly dráždivost na kůži.

Vážné poškození očí/podráždění očí: Výsledky testů OECD TG 405 neprokázaly dráždivost očí.

BEZPEČNOSTNÍ LIST

podle nařízení (ES) č. 1907/2006 (REACH), ve znění nařízení komise (EU) č. 453/2010

Název výrobku: **PARAMO HM 32**
Datum vydání: 27. 8. 2007
Datum změny: 17. 9. 2015 (verze 3.1)

Senzibilizace dýchacích cest/senzibilizace kůže: Data pro senzibilizaci dýchacích cest chybí, ale neočekává se. U senzibilizace na kůži byly provedeny testy OECD TG 406, které senzibilizaci neprokázaly.
Mutagenita v zárodečných buňkách: Obsah PAU je < 3 % (IP 346). Testy genetické toxicity in vitro ani in vivo neprokázaly mutagenitu v zárodečných buňkách.
Karcinogenita: Obsah PAU je < 3 % (IP 346). Není karcinogenní při dermální, ani inhalační expozici.
Toxicita pro reprodukci: Látka není toxická pro reprodukci.
Toxicita pro specifické cílové orgány – jednorázová expozice: nestanoveno
Toxicita pro specifické cílové orgány – opakovaná expozice: nestanoveno
Nebezpečnost při vdechnutí: Není.

ODDÍL 12: EKOLOGICKÉ INFORMACE

Na základě hodnot akutní toxicity není výrobek klasifikován jako nebezpečný pro vodní prostředí.

12.1 Toxicita**Pro složku minerální olej:**

Akutní toxicita pro vodní prostředí: ryby LL_{50} (96 h) > 100 mg/l, NOEL \geq 100 mg/l (OECD 203)
řasy NOEL (72 h) \geq 100 mg/l (OECD 201)
bezobratlí EL_{50} (48 h) > 10 000 mg/l, NOEL \geq 1000 mg/l (OECD 202)
Chronická toxicita pro vodní prostředí: bezobratlí NOEL (21 dní) 10 mg/l, ryby NOEL (21 dní) 10 mg/l
Toxicita pro půdní mikroorganismy a makroorganismy: Netestováno.

12.2 Persistence a rozložitelnost: Není lehce biologicky odbouratelný.**12.3 Bioakumulační potenciál:** Neudává se. Na základě hodnoty log P o/w podobných výrobků je možno očekávat velmi nízký.**12.4 Mobilita v půdě:** Nepředpokládá se.**12.5 Výsledky posouzení PBT a vPvB:** Pro složku minerální olej se nepředpokládá na základě nízké rozpustnosti ve vodě.**12.6 Jiné nepříznivé účinky:** Neočekávají se.**ODDÍL 13: POKYNY PRO ODSTRAŇOVÁNÍ****13.1 Metody nakládání s odpady**

Způsoby zneškodňování látky: Odpad nebo nevyužitě zbytky předat osobě s oprávněním k nakládání s odpady podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech za účelem využití nebo zneškodnění (podle pokynů výrobce).

Kód odpadu: N 13 01 10, v sorbentu: N 15 02 02

Způsoby zneškodňování kontaminovaného obalu: Řádně vyprázdněný obal odevzdat na sběrné místo nebezpečných odpadů. Obaly se zbytky výrobku odkládat na místě určeném obcí nebo předat osobě s oprávněním k nakládání s odpady.

Právní předpisy o odpadech: Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, v platném znění a související prováděcí vyhlášky a nařízení.

ODDÍL 14: INFORMACE PRO PŘEPRUVU

Pojmenování a označení podle evropské dohody o přepravě nebezpečného zboží RID/ADR.

14.1 Číslo OSN: není**14.2 Náležitý název OSN pro zásilku:** není**14.3 Třída/třídy nebezpečnosti pro přepravu:** není**14.4 Obalová skupina:** není**14.5 Nebezpečnost pro životní prostředí:** není**14.6 Zvláštní bezpečnostní opatření pro uživatele:**

BEZPEČNOSTNÍ LIST

podle nařízení (ES) č. 1907/2006 (REACH), ve znění nařízení komise (EU) č. 453/2010

Název výrobku: **PARAMO HM 32**

Datum vydání: 27. 8. 2007

Datum změny: 17. 9. 2015 (verze 3.1)

Ropné kapalné látky jsou podle zákona o vodách, v platném znění, považovány za nebezpečné, proto z hlediska požadavků ochrany jakosti povrchových a podzemních vod je při dopravování větších objemů nezbytné se řídit pokyny ČSN 75 3418.

14.7 Hromadná přeprava podle přílohy II MARPOL 73/78 a předpisu IBC:

Nejsou určeny k hromadné přepravě podle těchto předpisů.

ODDÍL 15: INFORMACE O PŘEDPISECH**15.1 Nařízení týkající se bezpečnosti, zdraví a životního prostředí/specifické právní předpisy týkající se látky nebo směsi**

✓ Zákon o ochraně ovzduší, v platném znění, včetně souvisejících předpisů a nařízení.

Výrobek není těkavou organickou látkou (VOC) ve smyslu zákona o ochraně ovzduší, v platném znění, a související vyhlášky MŽP.

✓ ČSN 85 0201 Hořlavé kapaliny – Prostory pro výrobu, skladování a manipulaci

Podle ČSN 85 0201 je výrobek zařazen do IV. třídy hořlavosti.

✓ ČSN 33 0371 Nevýbušná elektrická zařízení – Výbušné směsi – Klasifikace a metody zkoušení

Podle ČSN 33 0371 je výrobek zařazen do teplotní třídy T2.

✓ Nařízení vlády č. 381/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci, v platném znění

✓ ČSN 75 3415 Ochrana vody před ropnými látkami. Objekty pro manipulaci s ropnými látkami a jejich skladování

✓ ČSN 75 3418 Ochrana povrchových a podzemních vod před znečištěním při dopravě ropy a ropných látek silničními vozidly

✓ Zákon č. 350/2011 Sb., o chemických látkách a chemických směsích, a o změně některých zákonů

✓ Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky (REACH)

✓ Nařízení komise (EU) č. 453/2010, kterým se mění nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH)

✓ Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1272/2008, o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (CLP)

15.2 Posouzení chemické bezpečnosti

Posouzení chemické bezpečnosti bylo provedeno pro složku minerální olej.

ODDÍL 16: DALŠÍ INFORMACE**16.1 Seznam H-vět a P-vět podle Nařízení (ES) č. 1272/2008:**

Standardní věty o bezpečnosti H-věty

Není.

Pokyny pro bezpečné zacházení P-věty

Není.

Doplňující údaje na štítku

EUH210 Na vyžádání je k dispozici bezpečnostní list.

16.2 Školení

Před zahájením práce s výrobkem je uživatel povinen seznámit se s bezpečnostními zásadami týkajícími se zacházení s výrobkem a absolvovat příslušná školení na pracovišti.

16.3 Informace o změnách

✓ Novela 2 (N2) byla provedena na základě platnosti Nařízení komise (EU) č. 453/2010.

✓ Verze 3.0 nahrazuje BL z 23. 4. 2012, změna se týká klasifikace a značení podle CLP.

✓ Verze 3.1 nahrazuje BL z 20. 1. 2015, změny jsou v čl. 2.1, 3.2, 14.5, 15.1, 16.2.

Údaje obsažené v tomto bezpečnostním listě se týkají pouze uvedeného výrobku a odpovídají našim současným znalostem a zkušenostem. Za správné zacházení s výrobkem podle platné legislativy odpovídá uživatel.